

## RESUMEN

El aparato circulatorio se encarga de distribuir la sangre a todos los órganos, tejidos y células para distribuir oxígeno, además de recoger las sustancias de desecho de las células.

La sangre circula desde el corazón, pasando por arterias, arteriolas y capilares y regresa al corazón por las vénulas y venas.

## CORAZÓN

El corazón es el órgano principal, responsable del funcionamiento del aparato circulatorio, está compuesto por tejido muscular llamado miocardio, se considera como una bomba que se encarga de distribuir la sangre a todo el cuerpo. Está cubierto por dos membranas, la que está adherida al corazón se llama epicardio y la que rodea el epicardio es llamada pericardio, estas membranas permiten el movimiento del corazón y a la vez que permanezca en una posición unido al cuerpo.

Este órgano tiene cuatro cavidades, dos superiores y dos inferiores, las cavidades superiores son: Aurículas (A. Derecha y A. Izquierda), y las cavidades inferiores: Ventriculos (V. Derecho y V. Izquierdo). También se hace la distinción de nombrar corazón derecho a la Aurícula y Ventrículo derechos, y se nombra corazón izquierdo a la Aurícula y Ventrículo izquierdos.

El septo ventricular es el tabique que divide los ventrículos derecho e izquierdo; mientras que el tabique que divide las aurículas es llamado septo auricular.

El corazón derecho se encarga de recibir la sangre que viene de recorrer el cuerpo para enviarla a los pulmones y que sea oxigenada, por otra parte el corazón izquierdo tiene la labor de recibir la sangre ya oxigenada y enviarla nuevamente a que se distribuya y circule por todo el cuerpo.

En el corazón derecho hay una válvula: Tricúspide, que es la que controla el flujo sanguíneo de la aurícula al ventrículo; la válvula pulmonar es la que regula el paso de la sangre del ventrículo derecho a los pulmones.

La válvula Mitral es la responsable de controlar el flujo de la aurícula izquierda al ventrículo izquierdo; y finalmente, la válvula aórtica es la que regula el paso del flujo sanguíneo del ventrículo izquierdo a la aorta (esta última es la que se encarga de impulsar la distribución de la sangre por todo el cuerpo).

El bombeo del corazón se debe a impulsos eléctricos; dichos impulsos se generan en el nodo sinusal y se transmiten al nodo sinoauricular (SA), que es el marcapaso principal del corazón.

El nodo SA envía el impulso eléctrico a las aurículas, produciéndoles contracción, de esta manera hacen que la sangre que contienen se transfiera a los ventrículos, enseguida pasa la señal a los ventrículos haciendo que éstos se contraigan y expulsen la sangre, y haya continuidad en la circulación.

El nodo SA genera impulsos eléctricos con una frecuencia de 60-100 veces por minuto.

Ahora, el nodo auriculoventricular (AV), es capaz de generar impulsos eléctricos con una frecuencia de 40-60 veces por minuto y funcionar como marcapasos cuando el nodo SA falla.

La importancia del nódulo AV radica en que cuando el nódulo SA genera el impulso y lo transmite por el nodo AV, este último retrasa el paso del impulso a través de él, dando tiempo de que las aurículas se contraigan antes de que se contraigan los ventrículos.

A pesar de que este sistema puede generar estímulos autonómicamente, el sistema nervioso autónomo SNA (sistema simpático y parasimpático) desempeña un papel importante en la regulación de la frecuencia y velocidad de los estímulos.

Las fibras simpáticas inervan las aurículas y los ventrículos en toda su extensión; mientras que las fibras parasimpáticas inervan principalmente el nodo sinusal y en el nodo auriculoventricular.

De manera general, el proceso que sigue un ciclo cardíaco es: Sístole y Diástole. Este proceso consiste en contracción, relajación y llenado ventriculares. La función sistólica permite la expulsión ventricular, mientras que la función diastólica permite el llenado. Esta secuencia está regulada por el marcapasos que se autogenera en el nodo sinusal.

La diástole (llenado ventricular) comienza cuando las válvulas auriculoventriculares se abren y permiten el flujo de la sangre de las aurículas a los ventrículos.

La sístole (contracción ventricular) sucede cuando el ventrículo comienza a contraerse como respuesta al estímulo eléctrico (esto se registra como el complejo QRS del trazo de un electrocardiograma).

## ELECTROCARDIOGRAMA (ECG)

Es un gráfico que registra la actividad eléctrica del corazón. Se tiene identificado un trazado particular de ECG para una persona sana.

El ECG es una herramienta para interpretar defectos de generación y conducción del impulso eléctrico, además de que se pueden diagnosticar enfermedades cardiovasculares.

La manera de obtener un electrocardiograma es mediante un electrocardiógrafo; se colocan electrodos adheridos en la piel, que son los encargados de captar la actividad eléctrica del corazón, estos electrodos están conectados al electrocardiógrafo.

En la práctica clínica se utilizan 12 derivaciones: 3 derivaciones son bipolares, es decir, son registros de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, entre brazo izquierdo y derecho, entre pierna izq. y brazo derecho, y entre pierna izquierda y brazo izquierdo.

Tres derivaciones son monopares: son registro desde cada miembro por separado en relación a un electrodo de voltaje igual a 0. Dichas derivaciones son: potencial del brazo derecho, izquierdo y de la pierna izquierda.

Por último, las 6 derivaciones restantes son conocidas como derivaciones precordiales o unipolares torácicas, los 6 electrodos se colocan en posiciones específicas alrededor de la posición del corazón. Estas derivaciones exploran la actividad eléctrica en el plano horizontal.

El electrocardiógrafo (antes Galvanómetro), funciona gracias a la interacción de dos campos, uno magnético, el que existe entre el hierro de un potente imán y un campo eléctrico, el que atraviesa una cuerda capilar sensible y que proviene de la corriente del corazón. El paso de corriente por la cuerda y el campo magnético produce movimientos laterales de la cuerda; dichos movimientos se grababan en papel fotográfico, ahora se imprime en papel cuadriculado.

En cuanto a las células cardíacas, éstas se dice que se encuentran en reposo cuando se encuentran polarizadas. Una polarización sucede cuando hay cargas negativas en su interior (iones de potasio) y cargas positivas en su exterior (iones de sodio).

La despolarización sucede cuando un estímulo es capaz de cambiar el estado de la célula, es decir, hay una inversión de cargas negativas hacia el exterior y las positivas hacia el interior; la precipitación de iones de sodio hacia el interior y más tarde el movimiento de iones de potasio hacia el exterior, esto último con mayor intensidad durante la fase de repolarización (recuperación celular).

En la señal que se registra del ECG se pueden identificar los puntos PQRST.

Cuando se genera el impulso en el nódulo SA, la aurícula se despolariza y genera un registro como onda P.

El tiempo que tarda el impulso en atravesar el nodo AV se registra como una línea de base, llamada segmento PR.

La despolarización ventricular es compleja, y su registro está formado por tres ondas en el ECG llamado QRS (Q es la primera onda negativa del complejo, R es la primera onda positiva y S es la onda negativa que sigue a R).

La repolarización ventricular se registra en el segmento ST y la onda T.

En algunas ocasiones se llega a registrar una onda después de la onda T, llamada onda U.

Dentro del registro del ECG se pueden encontrar anomalías asociadas con defectos genéticos, con enfermedades o con infartos. Entre las anomalías más comunes se encuentran los registros de latidos ectópicos, que son latidos extras que da el corazón que no son generados por el nodo sinusal; aunque también es común no encontrar el registro de un latido.

El ritmo sinusal puede verse afectado por la respiración, incrementando su frecuencia en inspiración y disminuyendo en espiración.

#### VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Los padecimientos cardiovasculares en la actualidad han incrementado, por lo que las muertes debido a estos padecimientos han tenido gran impacto en la investigación, esto como una búsqueda de prevención.

Dentro de estas investigaciones se ha destacado la importancia del estudio de la variabilidad de la frecuencia cardiaca, ya que estudios clínicos señalan que conociendo la variabilidad de la frecuencia cardiaca se considera como un marcador pronóstico en las personas que padecen cardiopatía isquémica, insuficiencia cardiaca, además se puede predecir la mortalidad después de un infarto, detectar neuropatía diabética, y ciertos patrones en las variaciones de la frecuencia cardiaca fetal durante las contracciones uterinas del trabajo de parto predicen sufrimiento fetal agudo; además de que se puede analizar el funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo, entre otras cosas.

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca es la variación del periodo cardíaco en un intervalo de tiempo. Por medio del sistema autónomo, se dan respuestas a estímulos recibidos por el sistema nervioso central, dichas respuestas interactúan con el aparato cardiovascular, y por ende afectan la frecuencia cardíaca.

En el ECG se debe detectar cada onda R, y se calcula el tiempo entre ondas R sucesivas (intervalo R-R).

El intervalo R-R mide el periodo cardíaco, por lo tanto el inverso de este intervalo mide la frecuencia cardíaca. Así que la serie de intervalos R-R es lo que se conoce como VFC.

Aunque existen muchos factores que influyen en la variabilidad, como puede ser el estrés, la edad, la posición corporal, etc., un factor muy interesante, es la arritmia sinusal respiratoria (se caracteriza por un aumento de la frecuencia sinusal al final de la inspiración y una disminución de la frecuencia al final de la espiración. De esta manera el intervalo R-R se acorta durante la inspiración y se alarga durante la espiración), ya que la respiración puede ser controlada en profundidad y frecuencia como se mencionaba anteriormente.

Cabe indicar que el Sistema Nervioso Autónomo se divide en Sistema Nervioso Simpático y Sistema Nervioso Parasimpático.

El primero está asociado con la percepción de un estímulo de carácter emocional, produciendo una respuesta estimulante como un mecanismo de alerta en el cuerpo, tal como el aumento en la frecuencia de la respiración y aumento en los latidos del corazón. Este sistema produce un reflejo masivo.

Esta respuesta se debe a la liberación del neurotransmisor llamado nora-drenalina y adrenalina.

En cuanto al Sistema Parasimpático, éste tiene la función opuesta al Sistema Simpático, ya que la liberación de acetilcolina tiende a disminuir los mecanismos de alerta, es decir, mantener un estado de relajación (baja la respiración y la circulación). Este sistema controla discreta y directamente a los órganos inervados.

Existe un nervio que es el responsable de la mayor parte de la actividad parasimpática llamado "nervio vago"; este nervio inerva al corazón, pulmones, estómago, hígado.

Ahora bien, el corazón está inervado por los dos sistemas, tanto Simpático como Parasimpático. Ambas inervaciones afectan la frecuencia y la contractilidad.

El SNP tiene mayor control sobre los nodos Sinoauricular y Auriculoventricular. El efecto provocado por el nervio vago es la disminución de la frecuencia cardiaca por disminución de la descarga del nodo sinoauricular y disminución de la excitabilidad de las fibras auriculoventriculares.

La inervación del SNS sobre los ventrículos es mayor que el SNP; la estimulación del ganglio derecho (que inerva el epicardio anterior y septo ventricular) provoca aumento de la frecuencia cardiaca. La estimulación del ganglio izquierdo aumenta la tensión arterial y la contractilidad del ventrículo izquierdo sin alterar la frecuencia cardiaca. El hecho de que no existe variabilidad de la frecuencia cardiaca indica que no hay interacción de los sistemas Simpático y Parasimpático.

Aunque lo más común es que, a lo largo de todo un día, estamos expuestos a distintos estímulos exteriores, por lo que hay interacción de los dos Sistemas, Simpático y Parasimpático, entonces durante todo el día estamos sujetos a cambios en la frecuencia; es así que si la VFC no cambia, es un indicio de mal funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo.

Para poder analizar la VFC es necesario tomar un electrocardiograma, y a partir de este se saca un tacograma; con ayuda del tacograma y un método adecuado se puede obtener un espectro de potencias.

El tacograma es un gráfico que muestra el comportamiento de la frecuencia cardiaca en el tiempo.

A partir de un análisis en el dominio del tiempo de la VFC, se pueden obtener algunas medidas estadísticas significativas, como:

La desviación estándar de todos los intervalos R-R (SDNN) calculados en periodos de captura de 24 horas (llamada actividad total). El Índice SDNN (ms) son promedios de las desviaciones estándar de los intervalos R-R de segmentos de 5 min, de un registro total.

Este SDNN es un reflejo de la influencia de los dos sistemas SNS y SNP. También se puede obtener la desviación estándar (SDANN) que se calcula para capturas de 5 min. Esta SDANN (ms) es la desviación estándar de los promedios de intervalos R-R de segmentos de 5 min., de un registro total.

Podemos considerar la SDNN (ms), como un parámetro de utilidad como predictor de la mortalidad en pacientes que sufrieron infarto agudo.

Las medidas asociadas a la actividad Parasimpática, son el RMSSD (raíz cuadrada del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado, entre intervalos R-R adyacentes) y SDSD (desviación estándar de diferencias sucesivas

de intervalos R-R). Es importante mencionar que el RMSSD (ms) ha sido usado como un índice de control vagal cardiaco

Otra medida estadística en el dominio del tiempo es el NN50, este es el número de diferencias entre intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms. Mientras que pNN 50 está definido como el porcentaje total de las diferencias entre los intervalos R-R adyacentes, mayores a 50 milisegundos.

Esta medida ayuda a evaluar la actividad parasimpática.  $pNN\ 50 = (NN\ 50) / (NN_{total})$ ; esto es la fracción de intervalos consecutivos NN que difieren por mas de 50milisegundos.

Dentro de un análisis en el dominio de las frecuencias, se tiene establecido un modelo del espectro de potencia para la VFC (aplicable a la mayoría de las personas comunes), en el que se pueden distinguir cuatro bandas de frecuencia: altas (HF), bajas (LF), muy bajas (VLF), y ultra bajas frecuencias (ULF). La potencia total es representada por el área bajo la curva de potencia espectral.

En el espectro de potencia, la potencia total va desde los 0.003Hz hasta los 0.4Hz. Considerándose ULF frecuencias menores a 0.003Hz, VLF de 0.003Hz a 0.04Hz, para LF de 0.04Hz a 0.15Hz y las altas frecuencias de 0.15Hz a 0.4Hz.

Otro parámetro importante, pero en el dominio de la frecuencia es el cociente de LF/HF, el cual refleja el balance simpático vagal.

Así que, la asociación que se tiene establecida en cuanto al dominio de las frecuencias con el Sistema Nervioso Autónomo, es la siguiente: Las altas frecuencias se deben a la actividad del Sistema Parasimpático, que se caracterizan por la liberación de la acetilcolina; mientras que las bajas frecuencias están relacionadas con la acción de la adrenalina, es decir, el Sistema Simpático.

Los estudios realizados a la VFC en personas que padecen ciertas enfermedades han arrojado información relevante, como por ejemplo:

La disminución de la VFC después de que una persona sufre un infarto, refleja disminución de la actividad parasimpática, lo cual lleva a una inestabilidad eléctrica porque hay prevalecencia de actividad simpática.

En personas que padecen diabetes, se puede detectar disminución de las altas y bajas frecuencias (HF y LF), esto ha reflejado los inicios de la neuropatía diabética.

Otro estudio revela que cuando se efectúan trasplantes cardíacos hay una disminución muy marcada de la VFC, esto se ha considerado como una señal particular de reinervación cardíaca, aunque aún no se asocia algún cambio de la VFC con el rechazo al trasplante.

En cuanto a la relación de la edad con la actividad cardiovascular, la respuesta de la frecuencia cardíaca a los cambios de la tensión arterial y al ciclo respiratorio está muy disminuida en los pacientes de mayor edad.

Cabe resaltar que el ejercicio físico contribuye a un buen funcionamiento de las interacciones simpático-parasimpático; resultados de estudios que acondicionaban rutinas de ejercicio a pacientes con falla cardíaca, reflejaron un aumento de la VFC, lo cual favoreció a la pronta mejoría de éstos respecto a los pacientes que no se ejercitaban.

Los rangos de frecuencia mencionados, son un modelo para personas comunes; personas que hacen como mínimo 9 respiraciones por minuto; como esto es tan normal en la mayor parte de la población es que se ha aplicado dicho modelo.

Pero se presenta un problema en la aplicación del modelo de frecuencias para personas que tienen respiraciones menores, como por ejemplo personas que respiran a 6 o menos respiraciones por minuto, estas personas registran un corrimiento de las frecuencias, es decir, las altas frecuencias HF tienen un corrimiento hacia las bajas frecuencias LF.

El problema radica en la interpretación que se le da a las altas y las bajas frecuencias, ya que en una persona que tiene respiraciones por debajo de las 6 respiraciones por minuto se encuentra que, en el espectro de potencias, tienen una cantidad pequeña o nula de las altas frecuencias, y se observa un incremento en las bajas frecuencias.

Esto significaría entonces que una persona que tenga una respiración lenta, tiene mayor actividad del Sistema Simpático, mientras que la actividad del Sistema Parasimpático se disminuye o ausenta en el caso de que se anulen las altas frecuencias.

Esto parece ser una inconsistencia, ya que la actividad simpática es la que mantiene respuestas de alerta en el cuerpo, entonces una persona que se dedique a la práctica de la meditación (personas que controlan la frecuencia de su respiración, haciendo 6 o menos respiraciones por minuto), debería presentar dicha respuesta, y no es así. Al contrario, estas personas tienen bajo control las respuestas de alerta en su cuerpo.

Todo esto ha generado controversia en la interpretación del componente



LF, ya que en principio se le asociaba la actividad vagal, pero ahora se considera como un parámetro que incluye tanto influencia simpática como parasimpático.

Por toda esta inconsistencia, es de suma importancia el detectar y probar específicamente qué sistemas están involucrados en las altas y bajas frecuencias; o en su defecto, se debe proponer un modelo que se acople a ambas respuestas, aplicable a personas que hagan cualquier número de respiraciones por minuto.

## ANTECEDENTES

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca actualmente es objeto de estudio por sus aportaciones en cuestión de los indicadores de actividad del Sistema Nervioso Autónomo; ya que la manera de acceder a la información proporcionada por la VFC es mediante un método no invasivo (un electrocardiograma).

Los índices que están relacionados con la VFC han sido hasta los más recientes años, motivo de numerosos estudios en los que se ha destacado la importancia de la relación que tiene la VFC con los sistemas nerviosos Simpático y Parasimpático.

Cabe señalar que las aplicaciones de dichos estudios han sido de aplicación variada, lo cual indica que existe amplia relación con problemas de salud actuales.

En un estudio realizado en personas practicantes de Zazen (Yoga) en 1999 se encontró una relación muy estrecha entre la modulación de respiraciones lentas y las bajas frecuencias de la VFC. Lo que muestra que en dichas personas es evidente la salud en el ámbito cardiovascular; aunque se podría destacar también que el estilo de vida de estas personas es estricta en cuanto a sus hábitos de alimentación.

De acuerdo a dicho artículo, las altas frecuencias coinciden con el ciclo de la arritmia sinusal respiratoria y la estimulación vagal (actividad parasimpática). En cuanto a las bajas frecuencias se refiere; se afirma que éstas son afectadas por ambos sistemas nerviosos (SNS y SNP).

También es importante mencionar que centros de rehabilitación de Rusia han usado la modulación de la Arritmia Sinusal Respiratoria como un método para tratar varios desórdenes caracterizados por la hiperactividad autonómica, incluyendo desórdenes de ansiedad, hipertensión y asma.

## PRUEBA

La prueba consistió en el siguiente diseño: se tomaron 14 personas voluntarias al azar de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas "Luis Manuel Rivera Gutiérrez", del Instituto de Física y Matemáticas de la UMSNH y algunos familiares.

Las pruebas se realizaron por la tarde (después de las 4p.m.), algunas de ellas se realizaron dentro de las instalaciones de la facultad de Físico Matemáticas y otras en el Instituto de Física y Matemáticas. La toma de pruebas se realizó en dos fechas.

Las edades de dichos voluntarios oscilaban entre los 20 y los 33 años.

Para llevar a cabo la prueba se requirió de una Lap top (marca Compaq), un electrocardiografo (marca "patito"), con sus respectivos cables para conectar los 3 electrodos requeridos, y el software Cardio Pro para poder registrar la información del electrocardiografo en la computadora. El software está diseñado con varias ventanas, en las que se puede registrar la respiración y el elctrocardiograma; además de que se puede programar un marcador de tiempo para observar tiempos en los que se debe inhalar y exhalar mientras se registra el ECG.

El procedimiento de la prueba consistió en tomar a uno de los voluntarios, colocarle dos electrodos (el negativo y el de tierra) separados en el antebrazo izquierdo, y en el antebrazo derecho se colocó el otro electrodo (el positivo). Los 3 electrodos se conectaron al electrocardiografo, y éste a su vez se conectó a la computadora. Se le pidió a la persona que se relajara; y se programó el marcador de tiempo de Cardio Pro para que marcara 12 respiraciones en un minuto, es decir, que marcara el tiempo como 2.5 segundos para inhalar y 2.5 segundos para exhalar; para que la persona se guiara en dicho marcador para hacer la mitad del tiempo inhalación y la otra mitad exhalación.

En cuanto se tuvo todo listo, se hizo correr el programa y se dejaba a la persona sola en la sala; al cabo de 5 minutos, regresaba a la sala para reprogramar el marcador, ahora para que la persona hiciera 9 respiraciones por minuto y se nuevamente se dejaba sola; finalmente al cabo de 5 minutos, reprogramaba el marcador para que ahora las respiraciones de la persona fueran de 6 respiraciones por minuto durante 5 minutos.

Así que el tiempo total de la prueba para cada persona fue de 15 minutos, dedicados 5 minutos a cada una de las 3 diferentes frecuencias de respiración.

#### BIBLIOGRAFÍA:

Dvorkin, Cardinali. Bases Fisiológicas de la Práctica Médica. 13º Edición

en español. Edit. Medica Panamericana.

Romero Montalvo José. Guía del curso de Clinicopatología Cardiovascular. Facultad de medicina "Dr. Ignacio Chávez", U.M.S.N.H.

Sztajzel Juan. Heart rate variability: a noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system.

Dra. Teresa Silva Costa Gomes. Fisiología del sistema nervioso autónomo (SNA). (Hospital del Mar- Esperanza)

Lerma González, Infante Vázquez, Marco V. Sistema de análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.