Las investigaciones que se realizan en la actualidad en cualquier ciencia se han convertido en trabajos multidisciplinarios. La física ha sido de gran utilidad como apoyo para otras ciencias, haciendo importantes aportaciones.

En los últimos años ha sido notoria la estrecha relación entre la Medicina y la Física, desde el ámbito tecnológico (en cuanto a máquinas, instrumentos y equipos se refiere), hasta rubros como la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, así como en la explicación del funcionamiento integral del cuerpo humano.

PRELIMINARES

APARATO CIRCULATORIO.

El aparato circulatorio transporta la sangre a todos los órganos, tejidos y células para distribuir oxígeno, nutrientes y otras sustancias y componentes del organismo, además de recoger desechos del metabolismo 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 del sistema cardiovascular, está compuesto principalmente por tejido muscular (miocardio) y se considera como una bomba que tiene como función distribuir la sangre a todo el cuerpo. Está cubierto por dos membranas, una adherida al corazón llamada epicardio, y la otra que rodea el epicardio se llama 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 las Aurículas (A. Derecha y A. Izquierda), y las cavidades inferiores son los Ventrículos (V. Derecho y V. Izquierdo). También se suele hacer la distinción de nombrar corazón derecho a la Aurícula y Ventrículo derechos, y se nombra corazón izquierdo a la Aurícula y Ventrículo izquierdos.

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.

El corazón tiene válvulas que regulan el paso de la sangre a través de él, en el corazón derecho hay una válvula llamada 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 que realiza el corazón se debe a impulsos eléctricos, dichos impulsos se generan en el nodo sinusal (siendo éste el nodo principal, ya que es el que marca el ritmo en un corazón sano) y se transmiten al nodo sinoauricular (SA), este último envía el impulso eléctrico a las aurículas, produciéndoles contracción, de esta manera la sangre que contienen se transfiere a los ventrículos, enseguida pasa la señal a los ventrículos haciendo que éstos se contraigan y expulsen la sangre, de modo que se genere la circulación. El nodo SA genera impulsos eléctricos con una frecuencia de 60-100 veces por minuto.

Cabe hacer mencionar que 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. También 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, así como en la fuerza de contracción del corazón. Las fibras simpáticas inervan las aurículas y los ventrículos en toda su extensión; mientras que las fibras parasimpáticas inervan principalmente el nodo sinusal y el nodo auriculoventricular.

De manera general, el proceso que sigue un ciclo cardiaco 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. Este gráfico 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, los cuales están conectados al electrocardiógrafo. Dichos electrodos son los encargados de captar la actividad eléctrica del corazón, midiendo la diferencia de potencial entre algunos sitios del cuerpo.

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 asociada con la activación tardía de algunos sectores del miocardio, esta onda se atribuye también a la disminución de la frecuencia cardiaca (Bradicardia) o marcapasos ectópicos.

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, lo que significaría el bloqueo de el nodo sinusal.

El ritmo sinusal puede verse afectado por distintos factores, algunos de ellos son: el estrés, la anemia, la actividad física y la respiración, este último es denominado arritmia sinusal respiratoria.

La arritmia sinusal puede ser el resultado de reflejos circulatorios o efectos nerviosos que alteran la intensidad de las señales nerviosas del nódulo sinusal, en el tipo respiratorio de arritmia, las señales procedentes del centro respiratorio medular son las que afectan el centro vasomotor (durante la inspiración y espiración). En el ciclo de la respiración se provoca un incremento en el número de latidos por minuto mientras se realiza la inspiración y menor número de latidos al realizar espiración.

VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

En un ECG el tiempo que transcurre entre dos ondas R sucesivas (intervalo R-R) se considera un periodo cardiaco. La manera de obtener una frecuencia cardiaca instantánea es calculando el inverso del periodo (R-R), es importante mencionar que los periodos no se mantienen constantes, en consecuencia las frecuencias tampoco lo son, de ahí que a la variabilidad en la serie de intervalos R-R se le dé el nombre de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Aunque existen muchos factores que influyen en la VFC, tales como el estrés, la edad, la posición corporal, etc., un factor interesante es la arritmia sinusal respiratoria, ya que provoca que el intervalo R-R se acorte durante la inspiración y se alargue durante la espiración, siendo además útil para distintos aspectos de estudio este factor, ya que la respiración puede ser controlada en profundidad y frecuencia.

Concretamente el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) es el principal responsable de la VFC; ya que es el sistema que regula las funciones involuntarias o viserales del cuerpo, controla parcial o totalmente funciones como: la presión arterial, la movilidad gastrointestinal, la sudoración, la temperatura corporal, entre otras. Las señales del SNA se transmiten a través de dos sistemas: Sistema Nervioso Simpático (SNS) y Sistema Nervioso Parasimpático (SNP).

Los nervios simpáticos tienen su origen en la médula espinal y de ahí pasan a los tejidos y órganos como el corazón, los bronquios, el ojo, entre otros. La mayoría de las terminaciones del SNS secretan neurotransmisores llamados adrenalina y noradrenalina; es por ello que ante la percepción de algún estímulo o desequilibrio interno del cuerpo, este sistema produce una respuesta estimulante como un mecanismo de alerta en el cuerpo, provocando un reflejo masivo.

Por otra parte, el SNP se origina en los nervios craneales y sacros, la mayor parte de sus fibras se encuentran en los nervios vagos, inervando el corazón, hígado, pulmones, estómago, vesícula, entre otros. Todas las terminaciones nerviosas parasimpáticas secretan acetilcolina; este neurotransmisor tiende a disminuir los mecanismos de alerta (ejerciendo la función opuesta al SNS). Este sistema controla discreta y directamente a los órganos inervados.

Cuando la estimulación simpática produce efectos excitadores en algunos órganos, la estimulación parasimpática a veces los inhibe, actuando de manera recíproca (aunque los órganos están controlados de manera dominante por uno u otro sistema). El efecto que tienen ambos sistemas sobre algún órgano, por ejemplo en el corazón, es el siguiente: el SNS aumenta el ritmo cardíaco y la fuerza de contracción, es decir la actividad global del corazón aumenta tanto la propulsión del corazón como la resistencia al flujo, lo que provoca que la presión aumente; 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. Por otra parte, el SNP disminuye el bombeo del corazón, (produciendo efectos contrarios) provocando una disminución de la presión. El SNP tiene mayor control sobre los nodos Sinoauricular y Auriculoventricular, y 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.

Si no existe VFC, es un indicio de que no hay una adecuada interacción de los 2 sistemas (SNS y SNP). Aunque lo más común es que, a lo largo de todo un día, estamos expuestos a distintos estímulos externos e internos, por lo que hay interacción de los dos Sistemas, entonces estamos sujetos a cambios en la frecuencia cardíaca; es así que si la VFC no cambia, es un indicio de mal funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo; de ahí la relevancia del estudio de la VFC, por permitir el análisis del funcionamiento del SNA.

Ahora bien, los padecimientos cardiovasculares en la actualidad se 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 VFC, ya que estudios clínicos señalan que conociendo la VFC 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 la VFC fetal durante las contracciones uterinas del trabajo de parto predicen sufrimiento fetal agudo. Además que cabe destacar un aspecto de suma importancia, que es que el análisis de la VFC es usado como una herramienta no invasiva para evaluar la regulación autonómica del corazón, y de diagnóstico de un gran número de enfermedades cardiovasculares (J. Mateo Gascón, “Análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco: representación temporal e índices clínicos”, 1999)

Para poder realizar un análisis de la VFC es necesario tomar un electrocardiograma, y a partir de éste aplicar el método más conveniente (en el dominio del tiempo o en de la frecuencia).

Para la evaluación numérica de la VFC se han distinguido índices, a partir de un análisis en el dominio del tiempo, 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. El índice SDNN (ms) son promedios de las desviaciones estándar de los intervalos R-R (que puede medirse en capturas de 24 horas o periodos más cortos que se han estandarizado a 5 minutos). El índice SDNN es un reflejo de la influencia de los dos sistemas SNS y SNP. También se puede obtener la desviación estándar de los promedios de intervalos R-R (SDANN) de segmentos de 5 min. a lo largo de 24 horas, medida en ms. Estudios han revelado que el índice SDNN (ms), puede considerarse como un parámetro de utilidad para predecir la mortalidad en pacientes que sufrieron infarto agudo. (Kleiger 1987, Bigger, Jr. 1992, Tsuji, 1994)

Los parámetros asociados a la actividad Parasimpática, son el RMSSD (raíz cuadrada del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado, entre intervalos R-R adyacentes). Dicho índice revela información sobre las variaciones a corto plazo de los intervalos R-R. (G. Rodas, P.Carballido, J. Ramos, L.Capdevila, Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos, 2007). Otra medida estadística en el dominio del tiempo es el índice NN50, el cual indica el número de pares de intervalos R-R sucesivos que tienen una diferencia mayor a 50 milisegundos. Mientras que el índice pNN50 está definido como el porcentaje de intervalos R-R consecutivos que discrepan más de 50 milisegundos entre sí, de tal manera que, pNN 50=(NN 50)/(NNtotal); esto es la fracción de intervalos consecutivos NN que difieren por más de 50 ms.

El análisis en el dominio de la frecuencia permite estimar la Densidad Espectral de Potencia (DEP) de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, dicho análisis parte del tacograma (esto es un gráfico en donde la duración de los intervalos R-R consecutivos, de manera secuencial están en función del tiempo). Dicho análisis suele realizarse con periodos cortos de registro, de aproximadamente 5 minutos. Por medio del tacograma se revela cómo la potencia se distribuye como una función de la frecuencia. El análisis espectral puede realizarse utilizando diversos algoritmos matemáticos, entre los cuales los más conocidos son los métodos paramétricos como ARMA, ARMAX, BJ, Yule Walker; y los métodos no paramétricos como la transformada de Fourier. Las ventajas de los métodos paramétricos es su fácil post-procesamiento con un cálculo automático de bajas y altas frecuencias, con una fácil identificación de cada componente del espectro. Las técnicas no paramétricas para estimar el espectro de potencia tienen como ventajas: la simplicidad del algoritmo y la alta velocidad de procesamiento.

En el espectro del tacograma la potencia total va desde los 0.003Hz hasta los 0.4Hz, y se distinguen los siguientes cuatro intervalos (o bandas) de frecuencias: altas frecuencias (HF), bajas frecuencias (LF), muy bajas frecuencias (VLF), y ultra bajas frecuencias (ULF). 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. Siendo la potencia total (PT) la varianza de todas las componentes de los intervalos R-R inferiores a 0.4 HZ, y representada por el área bajo la curva.

Las ULF se distinguen con mayor claridad en periodos grandes de registro (24 horas), y se han asociado con el parámetro SDANN (del análisis en el dominio del tiempo). Las VLF tienen influencias temoreguladoras, hormonales y del sistema renina-angiotensina-aldosterona. La asociación que se tiene establecida de los otros indicadores de VFC en el dominio de las frecuencias con el Sistema Nervioso Autónomo, es la siguiente:

Las altas frecuencias se han encontrado asociadas con la actividad del sistema Parasimpático, mientras que las bajas frecuencias están influenciadas por la actividad del sistema Simpático y/o Parasimpático; aunque parece ser que en los registros a largo plazo proporciona más información sobre actividad del SNS, mientras que el SNP está asociado cuando existe una frecuencia respiratoria baja (inferior a 7 ciclos/min). Otro parámetro importante es el cociente de LF/HF, con el cual se puede estimar el equilibrio simpático-vagal. Esta proporción se utiliza para estimar de manera más efectiva la actividad de SNS.

Resultados de estudios revelan que si predomina la influencia del SNS de manera permanente, puede ser causa de trastornos de salud, depresiones, sobreentrenamiento y puede perjudicar el equilibrio biofísico de la persona. En tal caso, la VFC estaría disminuida, mientras que una VFC alta parece ser un indicador de buena salud, de menor morbi-mortalidad (en estado de post-enfermedad), o de correcta tolerancia a las cargas de trabajo o a entrenamientos (en el caso de deportistas). (G. Rodas, P.Carballido, J. Ramos, L.Capdevila, Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos, 2007)