

## **CIENCIA**

### **FISIOLOGIA DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR**

**Por: Elkin Martínez López**

#### **RESUMEN:**

La práctica de un deporte o de cualquier otra actividad física requiere la integridad de los distintos sistemas orgánicos, en particular del sistema Cardiovascular. Una breve revisión de la fisiología de este sistema contribuye al cabal entendimiento de las modificaciones que se producen con el ejercicio.

El presente artículo revisa los diversos aspectos de la correlación estructura-función del músculo cardíaco y las estructuras vasculares, además menciona discretamente los conceptos fundamentales de gasto cardíaco, presión arterial y algunos detalles sobre control y regulación

#### **I. Generalidades**

El sistema cardiovascular ha sido sabiamente diseñado como la adecuada manera de mantener alrededor de cada una de las células de un organismo complejo pluricelular, un medio ambiente intersticial tan óptimo como el que pudiera tener cualquier organismo unicelular inmerso en un medio de cultivo. Es decir, acondiciona un medio extracelular en equilibrio dinámico a fin de proporcionar los elementos necesarios para el metabolismo celular y remover los residuos de esta actividad vital.

Para tal efecto, se dispone de un sistema propulsor muscular, el corazón, y una vasta red de tubos con características diversas, de acuerdo a su función específica. Las arterias son vasos regulares de pared gruesa y elástica, conducen la sangre hacia los tejidos y constituyen un sector de poca distensibilidad y gran resistencia. La red capilar se integra de innumerables vasos delgados, semipermeables y conforman el área de intercambio entre los compartimientos intersticial y vascular. Los vasos venosos están dotados de una pared delgada, muscular, distensible lo cual les permite albergar gran cantidad de sangre —tres cuartas partes del volumen total— por tanto, se conoce como el sector de capacitancia.

El Aparato Circulatorio como cabría esperarse, tiene las conexiones necesarias para realizar su oficio. Se aprovisiona de nutrientes a través del sistema entero-hepático, de oxígeno en los pulmones, de sustancias hormonales en diversas glándulas. Se libera de desechos metabólicos en hígado, pulmón y principalmente en el riñón; además redistribuye e intercambia calor con el medio externo a través de una rica circulación cutánea.

En el ser humano, el sistema está estructurado como dos circuitos que confluyen en una bomba central tetracameral. Un circuito mayor se encarga de irrigar prácticamente la totalidad de los tejidos del organismo, dispone de vasos sanguíneos largos, conduce la sangre a mayor presión, ofrece alta resistencia y emerge del ventrículo izquierdo. El otro circuito de menor magnitud presenta vasos cortos de baja resistencia y con baja presión, profunde un sólo órgano al pulmón, por tanto, desempeña una sola función básica: oxigenar la sangre.

En resumen el sistema circulatorio es el intermediario por excelencia entre el medio ambiente externo y el medio intra-celular; además, lo es entre los diversos tejidos del organismo.

#### **II. Músculo Cardíaco**

La función propulsora es desempeñada por el corazón, órgano muscular con propiedades especiales para un trabajo eficaz, rítmico y continuo.

La fibra muscular cardíaca está dotada de un aparato contráctil bien equipado donde abundan los elementos necesarios para tal función, como fuentes de energía —glucógeno, glucosa— factorías para esta energía —mitocondrias—, suministro estable de oxígeno —mioglobina, óptima irrigación, etc.

Además es excitable, es decir, responde mecánicamente ante estímulos eléctricos, físicos o químicos. Puede conducir impulsos a lo largo de sus membranas celulares para lo cual se disponen en una arquitectura sincitial apropiada, donde las células vecinas alcanzan un íntimo contacto, favorecido éste por los interesantes discos intercalares. Como si esto fuera poco, la fibra cardíaca tiene la posibilidad de estimularse por sí misma, en una condición automática que le ha merecido al corazón el epíteto de un órgano que primero nace y último que muere.

### **III. Potencial de Acción**

La célula cardíaca al igual que las demás del organismo posee en reposo una diferencia de potencial eléctrico a través de su membrana en razón a la distribución selectiva de iones a uno y otro lado condicionada ésta, por la presencia de aniones proteicos intracelulares no difusibles.

De ésta manera el Sodio se concentra mayormente en el exterior, mientras que el Potasio lo hace intracelularmente. La estimulación efectiva de la célula produce una despolarización rápida seguida de una repolarización lenta.

Como se dijo antes, la estimulación cardíaca es autoproducida al parecer como consecuencia de un aumento progresivo en la permeabilidad de la membrana para el Sodio, con disminución simultánea para el Potasio. Cuando la fibra supera el nivel de disparo, en forma súbita se despolariza, pues la conductancia para el Sodio drásticamente se incrementa. La repolarización se inicia con una fase de meseta, en razón de la persistencia de la difusión aumentada de Sodio y probablemente por ingreso de iones Calcio bivalentes positivos. Finalmente la permeabilidad para el Potasio se aumenta acelerando la fase de la repolarización la cual cursa en forma lenta para durar quizá 100 ó 200 veces más que la despolarización.

El potencial de acción presenta una amplia fase —80% del total— llamada período refractario absoluto, durante el cual la fibra muscular cardíaca no responde a ninguna clase de estímulo; hecho interesante que garantiza la ausencia de otras contracciones musculares incompletas o desordenadas, las cuales atentarían contra la eficiente labor de esta bomba perfecta.

### **IV. Ciclo Cardíaco**

#### **A. Eventos Eléctricos**

Algunas fibras cardíacas se especializan en excitabilidad y conductibilidad para conformar el llamado tejido de conducción, el cual se distribuye estratégicamente en toda la masa muscular.

El nodo seno-auricular constituye el acúmulo de estas células con localización más cefálica; presenta la máxima excitabilidad y automatismo, lo cual le permite gobernar la frecuencia y el ritmo cardíaco, es decir, le “marca el paso” al corazón.

Las fibras de Purkinje conforman un sistema de veloz conducción, a lo largo del Haz de His, para de una manera eficiente, transmitir el estímulo hacia la punta del ventrículo y posteriormente en sentido contrario propagar la despolarización lateralmente desde la punta hacia la base del corazón y desde el endocardio al epicardio. Esta inteligente distribución del tejido de “excitación-conducción” posibilita que la generación y

transmisión ordenada de los impulsos, se traduzca en una respuesta mecánica y armónica; es decir, que la aurícula produzca una contracción con onda propulsora de la sangre hacia el compartimiento ventricular mientras éste se halla en reposo y acto seguido, el ventrículo mediante una contracción enérgica, determina la progresión de la sangre en sentido contrario, es decir, desde la punta hacia la base del corazón donde se abocan los grandes vasos arteriales aórtico y pulmonar.

## **B. Eventos Mecánicos**

Cada ciclo cardíaco consta de dos fases: una sistólica, de menor duración, en la cual los ventrículos se contraen para expulsar algún volumen sanguíneo que ha de pasar a los vasos arteriales y otra diastólica, de mayor duración, durante la cual los ventrículos se relajan para permitir el libre ingreso de sangre procedente del flujo pasivo desde las venas y del aporte adicional que determina la contracción auricular. Las dos fases del ciclo cardíaco se hallan enmarcadas por los llamados ruidos cardíacos. El primero es producido por el cierre de las válvulas aurículo ventriculares y señalan la repleción de los ventrículos y el inicio de su contracción o sístole. El segundo ruido se debe al cierre de las válvulas semi-lunares aórticas y pulmonar y manifiestan el intento de la sangre tratando de regresar al ventrículo después de haber sido expulsada. Hecho improbable en el corazón normal por el carácter unidireccional de aquellas y que indica el final de la sístole o el comienzo de la diástole o relajación.

Cerca de 70 veces por minuto se repite el Ciclo Bifásico, en el cual se expulsan por cada latido ventricular unos 80 ml. de sangre en condiciones de reposo para un adulto promedio, quedando un remanente menor, de unos 50 ml. de sangre en el ventrículo, el llamado volumen sistólico residual.

## **V. Gasto Cardíaco**

Las necesidades alimenticias y respiratorias de los tejidos del organismo determinan la estabilidad de un flujo sanguíneo adecuado que suministre permanentemente aquella materia prima requerida. Como es obvio, la necesidad es proporcional a la magnitud y duración del trabajo realizado por los tejidos; por lo tanto, el flujo sanguíneo que ha de perfundirlos deberá guardar estrecha relación con su metabolismo, para lo cual, por fortuna, el aparato circulatorio dispone de mecanismos que le permiten incrementar el flujo sanguíneo hasta en unas 6 u 8 veces bajo condiciones de exigencias especiales, en particular, durante el ejercicio severo.

El volumen sanguíneo que el corazón expulsa por cada sístole, está supeditado fundamentalmente a la fuerza de contracción y al volumen de sangre que retorna por las venas al corazón para ser propulsada de nuevo. Algunos agentes alteran la fuerza de contracción o inotropismo; el estímulo simpático mediado por la Noradrenalina lo incrementa, así mismo la digital. El retorno venoso se modifica de acuerdo al bombeo muscular periférico, al gradiente de presión abdomen-tórax; al volumen sanguíneo circulante; a la posición corporal, pues la gravedad es factor que interfiere el retorno de la sangre cuando ésta desciende a las extremidades inferiores en el ortos-tatismo.

La frecuencia cardíaca, afecta la magnitud del volumen minuto circulatorio en proporción directa hasta un límite fisiológico, superado el cual la relación se hace inversa. Este límite se estima en unas 180 pulsaciones minuto en el adulto, algo más en los niños. Las modificaciones de la frecuencia son fundamentalmente determinadas por el SNA; el simpático produce taquicardia, el parasimpático bradicardia.

El gasto cardíaco es valencia fundamental en la fisiopatología cardiovascular, pues la capacidad del corazón para colocar en movimiento una cantidad de sangre acorde con las exigencias metabólicas de los tejidos en una condición y momento dados habla de su EFICIENCIA como bomba muscular, de tal suerte que su incapacidad en tal sentido se califica clínicamente como INSUFICIENCIA CARDIACA.

## **VI. Presión Arterial**

Las moléculas que conforman los elementos líquidos y sólidos de la sangre golpean continuamente la pared del vaso sanguíneo que los contiene y determinan en ésta, una presión intraluminal que tiende a distenderlo hasta un punto tal en el cual la tensión en la pared pueda contrarrestar aquella presión.

Esta presión que la sangre ejerce sobre las paredes arteriales, es entonces la PRESION ARTERIAL, la cual no es constante sino que oscila permanentemente con cada ciclo; se hace máxima durante la sístole o contracción ventricular y mínima durante la diástole.

A medida que la sangre progresa por los vasos sanguíneos, el valor de la presión declina en forma drástica a nivel de las arteriolas y luego, gradualmente, en los lechos capilar y venoso hasta hacerse cero en la aurícula derecha.

La presión sistólica es consecuencia de la eyección enérgica de un volumen sanguíneo por parte del ventrículo al circuito sistémico, por tanto, su magnitud es directamente proporcional al volumen sanguíneo en movimiento e inversamente al grado de distensibilidad del árbol vascular. La arterioesclerosis torna rígidas las paredes de los vasos y por ello la incapacidad consecuente para albergar un volumen adicional de sangre durante la sístole, conduce a una hipertensión sistólica en estrecha concordancia con la edad.

La presión sistólica presenta valores considerados como normales según ciertas circunstancias. Aumenta gradualmente con la edad siendo 80- 90 para el Neonato y 160-170 para el Anciano; aumenta con el ejercicio en forma notoria así mismo con los estados de ansiedad.

## **VII. Control y Regulación**

La distribución del torrente sanguíneo en el organismo no es uniforme, más bien acusa notorias desigualdades, las cuales obedecen a las diferentes exigencias metabólicas de los tejidos y a la importancia del trabajo que éstos realizan.

Con condiciones de reposo, el hígado se lleva más de la cuarta parte del gasto cardíaco total, los riñones poco menos de la cuarta parte, mientras que el músculo esquelético y el cerebro reciben respectivamente una sexta y una séptima partes del flujo sanguíneo total. El corazón sólo el 5% del gasto cardíaco.

El músculo cardíaco en particular, es el tejido que más oxígeno consume por unidad de peso, por tanto, su Flujo Sanguíneo corregido al peso aparece como privilegiado con respecto a los demás tejidos siendo superado por el tejido renal únicamente.

La distribución del flujo sanguíneo presenta gran versatilidad y puede modificarse ampliamente en acuerdo a las circunstancias. Para ello el organismo dispone de agentes capaces de modificarlo los cuales en esencia son de dos tipos: Locales y Sistémicos.

### **A. Agentes locales**

Se refieren a todas aquellas condiciones que pueden alterar el flujo en forma circunscrita por acción directa sobre los vasos sanguíneos, pueden dilatarlos para incrementar el flujo o bien constreñirlos para disminuirlo.

La gran mayoría son productos inmediatos del metabolismo, por tanto, son indicadores fidedignos de la actividad celular, y favorecen el aflujo de sangre por relajación de la musculatura lisa vascular. Pueden aquí considerarse los nucleósidos de Adenosina, ATP, ADP, la hipoxia, la hipercapnia, la hiperpotasemia, la acidez y el lactato, éste último como producto final de la vida glicolítica anaerobia.

Las Cininas y la Histamina, relacionadas con fenómenos de inflamación y alergia respectivamente, pueden producir vasodilatación notable.

En general los agentes locales vasoactivos, son elementos destinados a mejorar la perfusión tisular una vez se verifica un aumento en la actividad celular; así se satisface cabalmente las demandas inherentes a ésta. Es definitivamente el mecanismo más importante, efectivo y difundido en los tejidos de la economía y se ajusta perfectamente a las necesidades específicas de cada órgano.

El frío, la hipocapnia, la hiperoxia, la baja concentración de hidrogeniones y en forma discutida la serotonina producen vasoconstricción local.

## **B. Agentes sistémicos**

Incluyen aquellos factores que determinan respuestas generalizadas en el sistema cardiovascular.

Algunas sustancias circulantes pueden producir respuestas sistémicas; la adrenalina y noradrenalina causan vasoconstricción en la mayoría de los lechos vasculares mientras que la acetilcolina causa vasodilatación. La angiotensina es un potente vasoconstrictor sistémico cuya producción en la sangre está mediada por la liberación de renina en el riñón, cuando éste detecta disminución del volumen circulante.

El gobierno sistémico cardiocirculatorio es sin duda ejercido por el sistema nervioso autónomo con sus dos clásicos ejecutores: el simpático y el parasimpático.

El simpático, actúa con mediación química sináptica de la noradrenalina y de la adrenalina, catecolaminas que producen efectos cardiotrópicos, consistentes en aumento en la fuerza de contracción - inotropismo positivo —, aumento en la frecuencia cardíaca —cronotropismo positivo— y aumento en la velocidad de conducción —dromotropismo positivo.

Sobre los lechos vasculares produce en general vasoconstricción, con excepción del músculo cardíaco, músculo esquelético e hígado, donde la respuesta es vasodilatación. La acción simpática se condiciona al tipo de receptor adrenérgico que predomina en cada tejido; los alfa participan en respuestas vasoconstrictoras, mientras que los beta lo hacen en respuestas vasodilatadoras.

El parasimpático libera acetilcolina en las uniones sinápticas y produce crono, ino y dromotropismo negativos, siendo más aparente el efecto bradicardisante tan mencionado en los reflejos vagales. Los vasos sanguíneos sufren vasodilatación ante estímulos colinérgicos.

La dirección nerviosa del sistema cardiovascular se ejerce desde el tallo cerebral donde se ubican dos centros; el cardioinhibitorio, coincidente con el núcleo motor dorsal del vago y el centro vasomotor en el cual se caracterizan dos tipos de neuronas en la formación reticular del bulbo raquídeo, unas activadoras y otras inhibitorias. Aquellas integran la porción presora y éstas, la depresora.

Las influencias en estos centros supedita la magnitud de la descarga que han de emitir neuronas del sistema gamma eferente adrenérgico, ubicadas en las astas laterales de la porción dorsal de la médula espinal. Es decir, que los estímulos excitatorios o presores aumentan la descarga, mientras los impulsos inhibitorios o depresores abaten la descarga adrenérgica eferente.

Existen además, algunos receptores de ubicación estratégica en el árbol vascular, que captan las condiciones químicas y de presión existentes y envían información en forma de descargas eléctricas para los controles centrales en el tallo cerebral, a fin de que éstos realicen las correcciones homeostáticas necesarias. Se hace referencia a los quimio-receptores y a los haro-receptores. Estos últimos de mayor trascendencia cardiocirculatoria median respuestas nerviosas rápidas capaces de mantener la presión sanguínea en un estrecho margen de variabilidad para garantizar una perfusión adecuada de todos los tejidos del organismo.

Cualquiera que sea el volumen sanguíneo circulante y las condiciones circulatorias momentáneas, el flujo de sangre hacia el cerebro y corazón tiene prelación sobre los demás órganos en atención a la vital actividad que ambos desempeñan. Los mecanismos locales y sistémicos en estos dos territorios están diseñados con especialidad para garantizar tal deferencia irrigatoria, presente aún en condiciones anormales, en las cuales otros órganos podrían lesionarse con la redistribución sanguínea prioritaria.

#### **DATOS PERSONALES DEL AUTOR**

Médico. Profesor de Fisiología Facultad de Medicina Universidad de Antioquia. Jefe de la Sección de Medicina del Deporte.

#### **DIRECCION DEL AUTOR**

Casa del Deporte Jacques de Bedout Villa. Coldeportes Antioquia, Calle 48 70-180 Medellín Colombia.

O Instituto de Ciencias del Deporte. Sección Medicina del Deporte. Apdo. Aéreo 1228 Medellín Colombia.