CAPÍTULO 17

Control local y humoral del flujo sanguíneo por los tejidos

CADA TEJIDO TIENE LA CAPACIDAD DE CONTROLAR SU PROPIO FLUJO SANGUÍNEO LOCAL EN PROPORIÓN CON SUS NECESIDADES METABÓLICAS.

Las necesidades metabólicas de los tejidos incluyen:

* Aporte de O2 a los tejidos
* Aporte de otros nutrientes, como glucosa, aminoácidos y ácidos grasos
* Eliminación de CO2 de los tejidos
* Eliminación de H de los tejidos
* Mantenimiento de concentraciones adecuadas de otros iones en los tejidos
* Transporte de varias hormonas y otras sustancias a los distintos tejidos.

(APRENDER TABLA 17-1)

Los músculos en reposo tienen actividad metabólica baja, por lo que su flujo sanguíneo en dicho estado es de 750 ml/min o 4 ml/min/100g. Pero cuando los músculos están activos aumenta su actividad metabólica y por ende su flujo sanguíneo aumenta hasta 16,000 ml/min u 80 ml/min/100g.

El flujo sanguíneo que llega a un tejido está regulado por la concentración mínimo que cubrirá las necesidades tisulares, ni más, ni menos. Esto se debe a que si el flujo no fuera regulado por las necesidades del tejido el flujo sanguíneo que bombea normalmente el corazón no sería suficiente.

Mecanismos de control del flujo sanguíneo

El control del flujo sanguíneo local puede darse a:

CORTO PLAZO

* CONSISTE EN LOS CAMBIOS RÁPIDOS DE VASODILATACIÓN Y VASOCONSTRICCIÓN LOCAL DE ARTERIOLAS, METAARTERIOLAS Y ESFÍNTERES PRECAPILARES.
* SE PRODUCE EN SEGUNDOS O MINUTOS
* Cuando el metabolismo incrementa hasta 8 veces con respecto a los normal el flujo sanguíneo aumenta a corto plazo hasta 4 veces.
* Cuando el aporte de O2 en los tejidos disminuye, el flujo sanguíneo aumenta. El aporte de O2 puede disminuir debido a:

1. Una gran altitud
2. Neumonía
3. Envenenamiento por CO2
4. Envenenamiento por cianuro🡪porque altera el uso de O2 ya que deteriora la capacidad del tejido para usar el O2. Esto aumenta el flujo hasta 7 veces.

Hay dos teorías básicas para la regulación del flujo sanguíneo local cuando cambia el metabolismo tisular o disponibilidad de O2. Éstas son:

1.Teoría vasodilatadora

ESTABLECE QUE CUANTO MAYOR SEA EL METABOLISMO O MENOR SEA LA DISPONIBILIDAD DE O2 O ALGUNOS OTROS NUTRIENTES EN UN TEJIDO, MAYOR SERÁ LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE SUSTANCIAS VASODILATADORAS EN LAS CÉLULAS DE ESE TEJIDO.

Las sustancias vasodilatadoras son adenosina, CO2, compuestos con fosfato de adenosina, histamina, iones potasio e hidrógeno.

La adnosina es un vasodilatador local importante para controlar el flujo sanguíneo local, en tejidos como músculo esquelético y el corazón.

Se sabe que la reducción de la disponibilidad de O2 provoca la liberación tanto de adenosina como de ácido láctico en los espacios entre células tisulares. La liberación de estas sustancias produce vasodilatación a corto plazo ayudando así a regular el flujo sanguíneo local.

El CO2, ácido láctico y los iones potasio aumentan en los tejidos cuando el flujo sanguíneo se reduce y el metabolismo celular prosigue al mismo ritmo, o cuando el metabolismo celular aumenta.

2. Teoría de falta de O2

Es llamada también la teoría de la falta de nutrientes

Como el O2 y otros nutrientes son necesarios para provocar la contracción muscular, es razonable creer que los vasos sanguíneos simplemente se relajarían en ausencia de una cantidad adecuada de O2, dilatándose de forma natural.

El aumento de la utilización de oxígeno en los tejidos como consecuencia del aumento del metabolismo podría, en teoría, disminuir la disponibilidad de O2 hacia las fibras lisas de los vasos sanguíneos locales, lo que también provocaría la vasodilatación local.

Por su parte la vasomotilidad, que permite la apertura y cierre cíclicos de las metaarteriolas y esfínteres precapilares, hace que la duración de la apertura de dichas estructuras sea proporcional a las necesidades metabólicas de oxígeno en los tejidos.

Cuando la concentración de O2 aumenta por encima de cierto nivel los esfínteres precapilares y las metaarteriolas se cerrarán hasta que las células tisulares consuman el exceso de O2.una vez que la concentración de O2 ha descendido lo suficiente, los esfínteres se abrirán para comenzar nuevamente el ciclo.

La ausencia de glucosa en la sangre provoca vasodilatación tisular local.

Además la deficiencia de vitaminas del grupo B, tiamina, niacina y rivoflavina (como la que se origina en el Beriberi) causa vasodilatación ya que dichas vitaminas son necesarias para la fosforilación del ATP, el cual se necesita para la contracción del músculo liso. Por ello al haber menos de estas vitaminas, hay menos ATP y al haber menos ATP disminuirá la contracción de los vasos.

CONTROL A CORTO PLAZO DE LA PRESIÓN ES DEBIDO A VASODILATACIÓN Y VASOCONSTRICCIÓN.

CONTROL A LARGO PLAZO DEBIDO A CAMBIO EN LA VASCULARIZACIÓN TISULAR Y CIRCULACIÓN COLATERAL.

EN LA REGULACIÓN A CORTO PLAZO:

MAYOR METABOLISMO=MAYOR FLUJO SANGUÍNEO

MENOR CONCENTRACIÓN DE O2=MAYOR FLUJO SANGUÍNEO

LARGO PLAZO

* SE PRODUCE EN DÍAS, SEMANAS O INCLUSO MESES
* Se produce como consecuencia del incremento o descenso del tamaño físico y del número de vasos sanguíneos que nutren los tejidos.

Ejemplos especiales del control metabólico a corto plazo del flujo sanguíneo local

Otros dos ejemplos de control metabólico del flujo sanguíneo local son:

Hiperemia reactiva

Se produce cuando el flujo sanguíneo de un tejido es ocluido durante unos segundos, 1 h o más y después se desbloquea. Al desbloquear el tejido el flujo sanguíneo aumenta hasta 4 a 7 veces con respecto a lo normal. Este aumento de flujo sanguíneo permite reponer casi exactamente el deficit de O2 tisular que se ha acumulado durante el período de oclusión.

Hiperemia activa

Se produce cuando cualquier tejido se vuelve muy activo, el incremento del metabolismo local hace que las células devoren con rapidez los nutrientes del líquido tisular y que liberen sustancias vasodilatadoras. El resultado es la vasodilatación y por tanto el flujo sanguíneo aumenta. De esta forma el tejido activo recibe los nutrientes adicionales necesarios para mantener este nuevo nivel de funcionamiento.

Ejemplos de situaciones que causan hiperemia activa son:

* Músculo en ejercicio
* Actividad mental rápida
* Glándulas gastrointestinales con período de hipersecreción

Autorregulación del flujo sanguíneo cuando la presión arterial cambia de la normalidad mecanismos metabólicos y miógenos

AUTORREGULACIÓN DEL FLUJO SANGUÍNNEO🡪 Se produce cuando en cualquier tejido del organismo el rápido incremento de la presión arterial provoca aumento inmediato del flujo sanguíneo, pero en menos de 1 min ese flujo vuelve a la normalidad en la mayoría de los tejidos, incluso aunque la presión arterial se mantenga elevada.

Hay dos formas de autorregulación a corto plazo y son:

Teoría metabólica:

Cuando la presión arterial es demasiado elevada, el exceso de líquido proporciona demasiado O2 y demasiados nutrientes de otro tipo hacia los tejidos y disminuye los vasodilatadores liberados por los tejidos. Estos nutrientes junto con el descenso de vasodilatadores tisulares provocan la contracción de los vasos sanguíneos y el retorno del flujo casi a la normalidad, a pesar de que aumente la presión.

Teoría miógena:

Ésta se basa en que cuando una presión arterial elevada estira el vaso se provoca una constricción vascular reactiva que reduce el flujo sanguíneo casi a la normalidad.

La contracción miógena es iniciada por la despolarización vascular inducida por el estiramiento, esto aumenta rápidamente la entrada de Ca desde el LEC hacia las células para provocar la contracción.

La respuesta miógena es inherente al músculo liso vascular y se puede producir en ausencia de la influencia nerviosa u hormonal. Ésta es más pronunciada en las arteriolas pero puede producirse en arteriolas, vénulas y vasos linfáticos.

El mecanismo miógeno es importante para prevenir el estiramiento excesivo del vaso sanguíneo cuando aumenta la presión sanguínea.

Los factores metabólicos anulan el mecanismo miógeno cuando las demandas metabólicas de los tejidos están aumentadas significativamente.

Mecanismos especiales del control a corto plazo del flujo sanguíneo en tejidos específicos

En los riñones el control del flujo sanguíneo se basa en un mecanismo denominado RETROALIENTACIÓN TUBULOGLOMERULAR. Cuando se filtra demasiado líquido de la sangre a través del glomérulo hacia el sistema tubular, señales de retroalimentación de la mácula densa provocan constricción de las arteriolas aferentes, reduciendo d esta forma tanto el flujo sanguíneo renal como la tasa de filtración glomerular a valores normales o casi normales.

En el cerebro las concentraciones de CO2 e hidrógeno tienen gran importancia, ya que el aumento de cualquiera de éstos dilata los vasos cerebrales y permite la disminución rápida del exceso de CO2 e hidrógeno en los tejidos cerebrales.

En la piel el control del flujo sanguíneo se relaciona con la regulación térmica del organismo. El flujo cutáneo y subcutáneo regula la pérdida corporal de calor mediante la determinación del flujo de calor desde el centro a la superficie del organismo.

El flujo sanguíneo en la piel está controlado en gran medida por el SNC a través de los nervios simpáticos.

Control del flujo sanguíneo tisular por medio de factores de relajación y contracción de origen endotelial

Las células endoteliales que recubren los vasos sanguíneos sintetizan varias sustancias que afectan al grado de relajación o contracción de la pared arterial.

ÓXIDO NÍTRICO

VASODILATADOR más importante de orígen endotelial. Es sintetizado por la óxido nítrico sintasa de las células endoteliales, a partir de arginina y oxígeno y por reducción de nitrato orgánico.

La semivida el NO es de 6 s y actúa principalmente en los tejidos locales en los que es liberado.

La liberación de NO se incrementa cuando la sangre circula a través de las arterias y arteriolas debido a que se generan fuerzas de cizallamiento.

El NO liberado aumenta los diámetros de los grandes vasos sanguíneos proximales siempre que el flujo sanguíneo microvascular aumenta distalmente.

La síntesis y liberación de NO desde las células endoteliales están estimuadas por algunos vasoconstrictores, como angiotensina II, que se une a receptores específicos en las células endoteliales.

EL AUMENTO DE LA LIBERACIÓN DE ÓXIDO NÍTRICO PROTEGE CONTRA UN EXCESO DE VASOCONSTRICCIÓN.

ENDOTELINA

VASOCONSTRICTOR más importante liberado por las células endoteliales.

El estimulo habitual para su liberación es la lesión en el endotelio, debido a golpe en los tejidos o inyección de producto químico traumatizante en el vaso sanguíneo. Después de un daño en los vasos sanguíneos la liberación de endotelina local y la vasoconstricción ayudan a evitar hemorragia.

El aumento de la liberación de endotelina también contribuye a la vasoconstricción cuando el endotelio sufre daños debidos a la hipertensión.

Regulación a largo plazo del flujo sanguíneo

Se da en un período de horas, días o semanas. Ésta consigue un control mucho más completo del flujo sanguíneo.

La regulación a largo plazo del flujo sanguíneo es especialmente importante cuando cambian las demandas metabólicas del tejido a largo plazo.

Si un tejido está crónicamente hiperactivo y requiere un aumento crónico de las cantidades de O2 y otros nutrientes, el número y tamaño de las arteriolas y vasos capilares aumentan en algunas semanas para cubrir las necesidades del tejido.

Mecanismo de regulación a largo plazo: cambio de la vascularización tisular

El mecanismo de regulación del flujo sanguíneo local a largo plazo consiste principalmente en cambiar la cantidad de vascularización de los tejidos. Si el metabolismo de un tejido aumenta durante un período prolongado se produce el aumento de la vascularización por medio de angiogenia.

Se produce una reconstrucción física de la vasculatura tisular para cubrir las necesidades de los tejidos.

El tiempo necesario para que tenga lugar la regulación a largo plazo puede ser d sólo unos días en el recién nacido o hasta meses en la tercera edad.

Importancia del factor de crecimiento endotelial en la formación de vasos sanguíneos.

Los factores de crecimiento vascular o factores angiogénicos se forman debido a la deficiencia de O2 y otros nutrientes.

Los tres factores de crecimiento vascular mejor identificados son el factor de crecimiento de los fibroblastos, factor de crecimiento del endotelio vascular y la angiogenia.

La angiogenia explica la forma en que los factores metabólicos de los tejidos locales provocan el crecimiento de nuevos vasos.

Algunas sustancias como hormonas esteroideas, tienen efecto antiangiogénico sobre los vasos sanguíneos pequeños, causando incluso la disolución de las células vasculares y la desaparición de los vasos.

LA VASCULARIZACIÓN SE DETERMINA PRINCIPALMENTE POR EL NIVEL MÁXIMO DE FLUJO SANGUÍNEO NECESARIO Y NO POR LA NECESIDAD MEDIA. Es decir que después del desarrollo de la vascularización extra los vasos sanguíneos extra se mantienen contraídos, abriéndose para permitir el flujo extra sólo cuando existan estímulos locales como falta de O2, estímulos nerviosos vasodilatadores u otros estímulos que provoquen flujo extra.

Desarrollo de la circulación colateral: un fenómeno de regulación a largo plazo del flujo sanguíneo local

Cuando se bloquea una arteria o una vena en cualquier tejido del organismo se desarrolla un canal vascular nuevo rodeando el bloqueo y permitiendo que se vuelva a suministrar sangre al tejido afectado, al menos parcialmente.

El desarrollo de los vasos colaterales sigue los principios habituales del control a corto y largo plazo dl flujo sanguíneo local, consistiendo el control a corto plazo en la dilatación metabólica rápida seguido crónicamente por el crecimiento e ingurgitación de los vasos nuevos en un período de semanas y meses.

CONTROL HUMORAL DE LA CIRCULACIÓN

SE REFIERE AL CONTROL POR LAS SUSTANCIAS SEGREGADAS O ABSORBIDAS EN LOS LÍQUIDOS DEL ORGANISMO, COMO HORMONAS Y FACTORES PRODUCIDOS LOCALMENTE.

Las sustancias encargadas del control humoral pueden ser vasoconstrictoras o vasodilatadoras.

Sustancias vasoconstrictoras

Noradrenalina y adrenalina

Noradrenalina tiene un efecto vasoconstrictor mayor.

Adrenalina provoca incluso vasodilatación leve, por ejemplo la vasodilatación coronaria durante el aumento de actividad cardíaca.

Éstas dos sustancias tienen efecto doble, un efecto directo debido a la estimulación simpática y un efecto indirecto por la secreción de éstas desde la médula suprarrenal a la sangre.

Angiotensina II

Contrae potentemente las pequeñas arteriolas.

Actúa en muchas de las arteriolas del organismo al mismo tiempo, para aumentar la resistencia periférica total y aumentar la presión arterial.

Vasopresina

También se conoce como HORMONA ANTIDIURÉTICA.

Es más potente que la angiotensina II

Se forma en las células nerviosas del hipotálamo.

La concentración de vasopresina en sangre circulante puede aumentar después de una hemorragia intensa, lo suficiente como para elevar la presión arterial hasta en 60 mmHg.

La vasopresina tiene una función importante aumentando la reabsorción de agua de los túbulos renales hacia la sangre y por tanto, ayudando a controlar el volumen de líquido corporal.

Sustancias vasodilatadoras

Bradicina

Su acción dura unos minutos.

Provoca dilatación arteriolar potente y aumenta la permeabilidad capilar.

Participa normalmente en la regulación del flujo sanguíneo de la piel, glándulas salivares y gastrointestinales.

Histamina

Se libera en todos los tejidos del organismo cuando sufren daños, se inflaman o sufren reacción alérgica.

Efecto vasodilatador potente sobre las arteriolas y puede aumentar en gran medida la porosidad capilar permitiendo la pérdida tanto de líquidos como de proteínas plasmáticas hacia los tejidos.

Las reacciones alérgicas causan que los efectos locales vasodilatadores y el aumento de la porosidad capilar sean prominentes y se produzca edema.

CONTROL VASCULAR POR IONES Y OTROS FACTORES QUÍMICOS

Aumento de la concentración de Ca🡪VASOCONSTRICCIÓN

Aumento de la concentración de K🡪VASODILATACIÓN

Aumento de Mg🡪VASODILATACIÓ POTENTE

Aumento de H🡪DILATACIÓN ARTERIOLAR

Descenso pequeño de H🡪CONSTRICCIÓN ARTERIOLAR

Iones acetato y citrato🡪VASODILATACIÓN PEQUEÑA

Aumento de CO2🡪VASODILATACIÓN moderada en la mayoría de tejidos y potente en el cerebro.

El flujo sanguíneo está regulado generalmente de acuerdo con las necesidades de los tejidos siempre y cuando la presión arterial sea adecuada para perfundir.