



TEMA 6. HOMEOSTASIS Y APARATO EXCRETOR

6.1. INTRODUCCIÓN:

En el tema anterior ya se ha hablado de la necesidad de que exista un medio interno en los organismos pluricelulares y también de la importancia de mantener su constancia (homeostasia u homeostasis). En este tema vamos a estudiar algunos de los parámetros o **constantes fisiológicas** más importantes, cuyo mantenimiento dentro de estrechos límites (de ahí que se les llame "constantes"), es de vital importancia. (Se considera como parámetro todo factor que se pueda medir). Algunas constantes del medio interno son mantenidas gracias a las actividades del aparato excretor.

6.2. LAS CONSTANTES DEL MEDIO INTERNO:

Algunas de las constantes que pueden destacarse, dentro de las muchas que existen, son las siguientes:

HOMEOTERMIA

El organismo humano, como el de todos los mamíferos y aves, es **homeotermo** porque dispone de mecanismos que conservan constante la temperatura del cuerpo a pesar de la fluctuaciones térmicas que puedan presentarse tanto en el medio externo que le rodea, como de su propio medio interno. También se dice que somos **endotermos** por generar dicho calor a partir de reacciones metabólicas celulares ("desde dentro"). Esta temperatura es de aproximadamente 37°C y, obviamente, es la óptima para la actividad de nuestras enzimas (en todos los mamíferos sucede lo mismo). Las aves, sin embargo, mantienen una temperatura constante de 41°C. (Como curiosidad y excepción a lo anterior hay que decir que los testículos se hallan fuera –no del todo– del cuerpo porque los espermatozoides no pueden ser fabricados correctamente a la temperatura corporal sino a algunos grados por debajo).

La regulación de la homeotermia obedece a mecanismos fisiológicos que permiten incrementar la producción de calor (termogénesis) y conservación del mismo o bien facilitar su eliminación (termólisis). Tales mecanismos se hallan, en su mayoría, regidos por un pequeño centro situado en la cara inferior del encéfalo, denominado **hipotálamo**. El hipotálamo funciona como un centro autorregulador de la temperatura corporal, comparable al termostato de un calentador eléctrico; es decir, cuando baja la temperatura pone en marcha los mecanismos de *termogénesis*, mientras que cuando sube, activa los de *termólisis*, manteniéndola así al mismo nivel.

La termogénesis o producción de calor se debe principalmente a las oxidaciones que sufren los nutrientes en las células (catabolismo), en especial en las del tejido muscular. Se trata, pues, de un mecanismo químico (los "tiritones" son contracciones rápidas e involuntarias de la musculatura producidas con el único fin de generar calor. Por otra parte, el trabajo muscular libera una gran cantidad de calor como "producto residual" de la síntesis del ATP, indispensable para la contracción).

La termólisis o pérdida de calor, a diferencia de la termogénesis, obedece a fenómenos físicos en los que juega un papel fundamental la irradiación del calor hacia el exterior a través de la superficie corporal. Uno de los mecanismos más eficaces de la termólisis es el que desarrolla el aparato circulatorio. Cuando al organismo le interesa perder calor se produce una vasodilatación cutánea, recibiendo la piel gran cantidad de sangre que se enfría al ponerse en contacto con la superficie externa y luego, al regresar a los órganos internos, hace bajar la temperatura de éstos (equivaldría al radiador de los automóviles). El fenómeno inverso ocurre cuando al organismo le

interesa evitar la pérdida de calor (defensa contra el frío). En este caso se produce un estrechamiento de los vasos sanguíneos superficiales, que se traduce en una palidez de las regiones corporales más expuestas al frío. (Si el frío puede comprometer la vida de las células expuestas al aire, la sangre, a pesar de todo, fluirá a esa zona para calentarla. Por eso se nos ponen la nariz o las manos enrojecidas en los días de mucho frío).

Otro mecanismo interesante en mamíferos y aves como modo de evitar la pérdida de calor es enderezar el pelaje o las plumas, para crear una capa más ancha de *aire inmóvil* en torno al cuerpo, que es el mejor aislante. Nosotros, como "monos desnudos" que somos hacemos el intento y se nos pone "la carne de gallina": hemos perdido pelo, quizás como mecanismo que favorece la termólisis (recuerda que procedemos de las sabanas africanas), pero seguimos teniendo la capacidad de poner los (pocos) pelos de punta (la evolución funciona así, mediante mutaciones que, en algunos casos, eliminan estructuras, pero no todas).

Existe otro mecanismo para facilitar la termólisis, consistente en el aumento de la evaporación de agua a través de la piel, se trata de la **sudoración**, producida por las glándulas sudoríparas (mamíferos sin glándulas sudoríparas → jadeo, largas lenguas, grandes orejas...) (→ las personas obesas sudan más) (→ las musarañas comen diariamente una cantidad de alimento igual a la mitad de su masa corporal: relación superficie/volumen).

HOMOOSMIA

Otra constante importante del medio interno es el **equilibrio osmótico** (homoosmia), al que se ha hecho referencia al estudiar las sales minerales. Para el mantenimiento normal de las funciones celulares es imprescindible una constancia de la presión osmótica en el medio que las rodea. Los líquidos orgánicos de los mamíferos, para mantener una presión osmótica normal, deben poseer una concentración de sales de alrededor de 9 g/l de disolución (recuerda qué es el suero fisiológico). [Para conseguir la presión osmótica adecuada en la sangre harían falta más sales, pero esto a su vez tendría efectos negativos, de ahí que el resto de la presión osmótica corra a cargo de proteínas plasmáticas].

Los riñones son el principal mecanismo osmorregulador. Esta es una función diferente a la excreción. Estos órganos eliminan más o menos agua y sales en función de la presión osmótica de la sangre, de manera que si en esta aumenta el contenido acuoso, el riñón elimina más agua y retiene los cuerpos disueltos. En el caso contrario, el riñón elimina el exceso de sales y retiene el agua. Todo esto dentro de un límite. (El riñón humano no puede eliminar un exceso de sal de modo rápido: por eso no podemos beber agua de mar).

ISOIONÍA (pH)

Todas las actividades celulares tienen lugar únicamente en un medio de reacción apropiado, deteniéndose si este es más ácido o más básico (alcalino) de la cuenta. Por eso, el organismo necesita también disponer de unos mecanismos que mantengan constante el pH. En general, el pH óptimo es de 6,5 (próximo a la neutralidad).

Estos mecanismos son necesarios porque existen continuamente actividades que modifican el pH, normalmente aumentando la acidez, es decir, produciendo protones o hidrogeniones (H^+) [estos iones se unen a una molécula de agua formando el ión hidronios (H_3O^+)]. La regulación del equilibrio entre ácidos y bases la consigue el organismo por los llamados **sistemas tampón o amortiguadores** en los que intervienen ciertas sustancias del plasma entre las que destaca el **ión bicarbonato**. (Hay otros iones e incluso proteínas captadoras-donadoras de protones). Estos compuestos químicos reaccionan con los ácidos o bases que puede haber en exceso, devolviendo el pH a la normalidad.

GLUCEMIA

La glucosa es el combustible celular por excelencia y en algunos casos el único empleado, tal y como sucede con las neuronas del sistema nervioso. La glucemia o concentración de glucosa



en sangre debe oscilar aproximadamente entre 0,8 y 1,2 g/l en ayunas. Existe un complejo sistema de regulación basado en dos hormonas antagónicas sintetizadas en el páncreas: la insulina y el glucagón; la primera de las cuales hace disminuir la glucemia y la segunda tiende a aumentarla.

UREMIA

Se define la uremia como la concentración de urea en sangre.

El metabolismo celular produce residuos continuamente que fundamentalmente proceden de la respiración celular. Destacan el **dióxido de carbono** y la **urea**. La urea es un compuesto nitrogenado procedente del catabolismo de los aminoácidos. Estos y otros residuos resultan tóxicos y se requiere su rápida eliminación para evitar daños en el organismo. La expulsión de los **restos del metabolismo celular** es la **excreción** y para llevarla a cabo, el organismo dispone de varios mecanismos que a continuación se comentan.

OTROS PARÁMETROS

Existen otras muchas sustancias, bien directamente empleadas como fuentes de energía, como los **triglicéridos**; o bien estructurales, como el **colesterol** (hoy día se analizan el HDL y el LDL, colesterol "bueno" y "malo" respectivamente) y ciertas proteínas, que deben mantenerse dentro de unos valores determinados.

No debe olvidarse el hecho de que en los líquidos del medio interno también se encuentran otros componentes, como **hormonas** y **enzimas** cuyas concentraciones variarán en función del estado fisiológico del organismo.

Los valores de los distintos parámetros son tan exactos dentro de sus límites, que un análisis de sangre puede dar indicaciones muy precisas a un especialista sobre el funcionamiento del individuo estudiado. También se analizan las **células sanguíneas** ya que cada uno de los tipos celulares debe presentar en condiciones normales una cantidad determinada.

Existe un conjunto de órganos especializados en la excreción así como en el mantenimiento de la homeostasis. En este tema nos referiremos básicamente al aparato excretor o urinario, que interviene en los dos procesos.

6.3. LOS ÓRGANOS DE EXCRECIÓN EN HUMANOS.

Algunos órganos realizan, entre otras funciones, la excreción; es el caso del **hígado**, de los **pulmones** y de manera "involuntaria" las **glándulas sudoríparas**.

De los dos primeros ya se ha hablado en temas anteriores. En cuanto a las glándulas sudoríparas, son unos finos tubos aperturados por un extremo y rodeados por capilares sanguíneos situados en la capa profunda de la piel (dermis) y que se abren por el otro extremo al exterior (epidermis) por un orificio o poro. Estas glándulas se encuentran repartidas por toda la piel del cuerpo en gran cantidad (más de dos millones), pero abundan sobre todo en las plantas de los pies, palmas de las manos y axilas que, como sabemos, son los lugares donde se suda más intensamente (siempre hay excepciones).

El líquido que segregan, el sudor, es un líquido procedente de la sangre, parecido al plasma, así que podemos decir que es **agua** con numerosas sustancias entre las que hay desechos metabólicos. La principal función del sudor es la de refrigerar el organismo mediante evaporación de agua ("efecto botijo").

La idea de que "sudar es muy sano porque se eliminan toxinas" es tan absurda como la de pensar que "sudar adelgaza": bien es verdad que se eliminan toxinas, pero junto con todo lo que posee el plasma, es decir, *sales imprescindibles* para la vida y *nutrientes valiosos*. En cuanto a adelgazar, efectivamente, perderemos tanto peso como *agua* evaporemos. Un agua que tras el

ejercicio deberemos reponer junto con las sales, para recuperar nuestro equilibrio interno (homeostasis).

Por lo tanto y resumiendo: para eliminar toxinas, y productos de desecho en general, tenemos unos pulmones (dióxido de carbono); un hígado (ya ha sido tratado en otro tema) y unos hermosos riñones.

Hacer deporte envuelto en plásticos para sudar más, no es beneficioso sino todo lo contrario (y si alguien dice que es para *fundir las grasas* es que su ignorancia no tiene límites en este tema).

[Hace unos años, un piloto de fórmula 1 español tuvo un problema durante una carrera: le falló el sistema que permite a los corredores beber mientras corren. Perdió más de cuatro kilos, de agua, en dos horas. Pudo haber tenido un disgusto muy serio: bajada de tensión hasta llegar al desmayo; pérdida de electrolitos, tales como sodio y potasio, en cantidad suficiente como para que los músculos hubieran dejado de funcionar bien y se hubieran producido calambres; al estar en un receptáculo cerrado y con mucha ropa, la temperatura corporal podía sobrepasar los 39 °C, algo también muy perjudicial para el buen funcionamiento del cerebro. En cualquier caso, se jugó haber sufrido un accidente que, a más de 300 Km por hora, suele ser serio. Por las mismas fechas también se habló de una mujer estadounidense que se hallaba en coma irreversible desde hacía 15 años. Hubo una polémica sobre si se la debía mantener artificialmente o no. El asunto es que esa mujer 15 años antes, siguiendo una dieta de adelgazamiento a base de laxantes y diuréticos, perdió potasio en cantidad tal que el corazón se le paró. Cuando pudieron reanimarla, el cerebro había quedado dañado irreversiblemente por falta de oxígeno].

6.4. EL APARATO EXCRETOR HUMANO.

Casi todos los productos que se originan como consecuencia del catabolismo son sustancias de desecho que deben ser eliminadas, porque no solamente resultan inútiles para el organismo, sino que también son perjudiciales. El agua puede ser también un producto de excreción y aunque no hay que considerarla un desecho, si sobra, habrá que expulsarla.

El aparato urinario se halla situado en la cavidad abdominal y está constituido por los riñones, los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra.

Riñones

Los riñones son dos órganos en forma de habichuela de unos 10 cm. de longitud, de color marrón rojizo muy oscuro que se encuentran situados en la región lumbar, a ambos lados de la columna vertebral por debajo de las costillas (más arriba de lo que generalmente cree mucha gente).

Si cortamos un riñón en sentido longitudinal observaremos tres partes claramente diferenciadas: a) La corteza o parte externa, de aspecto granuloso; b) la médula, que tiene un aspecto estriado, de modo que las estrías se agrupan en paquetes de forma triangular llamados pirámides renales, y c) una cavidad, con forma de embudo y en la que confluyen los vértices de las pirámides, denominada pelvis renal.

Cada riñón está formado por aproximadamente un millón de tubitos microscópicos, cada uno de los cuales es una unidad estructural y funcional denominada **nefrona**.

La nefrona es un tubo que empieza en un ensanchamiento en forma de copa denominado **cápsula de Bowman**, que rodea un apilamiento de vasos capilares o **glomérulo**. Esta parte se halla en la corteza renal. Tras la cápsula, el tubo se introduce en la médula renal y se enrolla formando un ovillo, el **túbulo contorneado proximal**, que tras numerosas vueltas se endereza y profundiza en la médula hasta que da la vuelta, es el **asa de Henle**, y se dirige hacia la corteza donde vuelve a enrollarse formando el **túbulo contorneado distal**. Una vez más, se endereza y se



dirige a un tubo de mayor calibre al que desembocan los extremos de otras nefronas, llamado **túbulo colector** (ver esquema).

La relación entre el aparato excretor y el circulatorio es muy estrecha, pudiéndose decir que el riñón "filtra" la sangre. A cada riñón llega una gran **arteria renal**, procedente de la aorta descendente que se ramifica dentro de él. A cada nefrona llega una **arteriola aferente** que se capilariza en la cápsula de Bowman formando el glomérulo. La red de capilares se reúne en una **arteriola eferente** que sale del glomérulo y se vuelve a ramificar y capilarizar en torno a toda la nefrona (Túbulos contorneados proximal y distal, asa de Henle y túbulo colector). Por último, estos capilares se reúnen de nuevo en una vénula que desembocará en la **vena renal**.

Otras partes del aparato urinario.

De la pelvis de cada riñón, sale un tubo denominado uréter que desemboca en una bolsa que es la vejiga urinaria, situada en la parte baja del vientre (en la parte anterior de la cavidad pelviana). Los uréteres tienen, entre otros tejidos, capas de músculo liso que por peristaltismo conducen la orina a la vejiga.

La vejiga es un amplio depósito de orina, cuyas paredes poseen una gruesa capa de tejido muscular liso y son muy distensibles. De la vejiga sale un conducto llamado uretra que desemboca en el exterior. En el punto de unión de la vejiga con la uretra existen dos esfínteres, uno involuntario y otro de apertura voluntaria.

FISIOLOGÍA DE LA NEFRONA

La función del aparato urinario es la elaboración de la orina a partir del filtrado de la sangre. La complejidad e importancia del proceso se ponen de manifiesto cuando los riñones dejan de funcionar. La sangre transporta los productos de desecho procedentes del catabolismo celular y otras muchas sustancias con diferentes orígenes y funciones (ya han sido analizadas en el tema anterior). Los riñones deben discriminar entre lo que es preciso eliminar y lo que no, y lo que hay que retirar por encontrarse por encima de la concentración adecuada, pero sólo hasta que se alcance el valor correcto [Por encima de una cierta concentración de glucosa en sangre, los riñones eliminan la sobrante. Desgraciadamente esto no es suficiente para alcanzar el valor normal. El significado de la enfermedad "diabetes mellitus" significa orina con sabor a miel: el médico Hipócrates, hace más de dos mil años ya recomendaba a los demás médicos probar la orina de los enfermos para diagnosticar enfermedades].

La elaboración de la orina se desarrolla en dos etapas, que se denominan fase glomerular y fase tubular, de acuerdo con el lugar de la nefrona en que tienen lugar.

1. Fase glomerular

Tiene lugar en el glomérulo. De la sangre de estos capilares pasa al interior de la cápsula de Bowman una gran cantidad de líquido cuya composición es semejante al plasma sanguíneo pero desprovisto de proteínas. Se trata de una solución acuosa muy diluida de sales minerales, urea, glucosa, aminoácidos, hormonas, medicamentos, enzimas, vitaminas, etc.

El paso de estas sustancias hacia el interior de la cápsula se debe a un mecanismo puramente físico de filtración, de ahí que a esta fase se la conozca también con el nombre de fase de **filtración glomerular**. La filtración depende de la presión sanguínea, y esta puede ser modificada variando el diámetro de las arteriolas aferentes y eferentes.

La cantidad de líquido que ingresa por filtración en las cápsulas de Bowman es enorme, cifrándose en unos **180 litros diarios**. Este líquido, que circula por la nefrona, recibe el nombre de **orina primaria**.

Teniendo en cuenta que no contamos con más de 5 litros de sangre en el organismo, fácilmente se comprende que semejantes volúmenes no pueden ser eliminados en forma de orina. Además de la deshidratación, supondría una pérdida de sustancias que provocarían unos

desequilibrios osmóticos imposibles de reponer. Así pues, a la filtración sigue un proceso de reabsorción en la fase siguiente.

2. Fase tubular

El filtrado glomerular experimenta profundas modificaciones a lo largo del tubo de la nefrona, hasta ser convertido en orina final. Dichas modificaciones consisten principalmente en la **reabsorción** de sustancias que volverán a la sangre como: agua, glucosa, aminoácidos, gran parte de los iones: cloro, sodio, potasio, calcio, fosfato, bicarbonato. Incluso se reabsorbe una parte de la urea. También se reabsorben las vitaminas, hormonas y cuantas sustancias útiles haya en la orina primaria.

Los mecanismos de reabsorción los realizan las membranas de las células que forman los tubos de las nefronas y son variados dependiendo de la sustancia a reabsorber: desde *transporte activo* con gasto de energía, a *transporte facilitado* (mediante transportadores específicos de membrana), *cotransporte* (aprovechando la entrada de otra sustancia) o simplemente por *difusión simple* a través de las membranas. Las células de las nefronas están en contacto con una red de capilares que serán los que recogerán las moléculas reabsorbidas, pasando así de nuevo a la sangre. [Ejemplo de cotransporte: la reabsorción de una parte de la urea, ayuda a reabsorber agua].

Cada tramo de la nefrona está especializado en la reabsorción de determinados componentes y así el trabajo realizado por las células del túbulo contorneado proximal, del asa de Henle y del túbulo contorneado distal son diferentes.

Es necesario mencionar otro proceso que también tiene lugar. Se trata de la **secreción**. La secreción consiste en el paso de ciertas sustancias desde la sangre de los capilares que rodean a la nefrona al tubo de la nefrona, pasando a formar parte de la orina. De este modo se eliminan algunas sustancias como por ejemplo, muchos medicamentos (es un proceso inverso a la reabsorción).

3. La orina

La **orina final o secundaria** es la que llega a los túbulos colectores y de ellos, a través de la pelvis renal, irá al uréter. Su principal componente es el agua, en la que van disueltas diversas sustancias entre las que destacan, por ser las más abundantes, la sal común y la urea. Otro componente que se encuentra en menor cantidad es el ácido úrico. Existen también en la orina diversos pigmentos, que son los que le dan el color amarillento, debiendo citar como más importante la urobilina.

La orina contiene ciertas cantidades de hormonas y, si hay un exceso de ellas en sangre, glucosa y vitaminas. Aquí el riñón se comporta como un "rebosadero". Un análisis de orina también puede dar muchas indicaciones sobre el estado del organismo (por ejemplo la prueba del embarazo se efectúa con una muestra de orina). Muchos medicamentos se eliminan con la orina.

La cantidad de orina final producida diariamente es variable en función de diversos factores, tales como la cantidad de agua o de sales ingeridas, así como la temperatura y humedad exteriores, pero aproximadamente viene a ser un litro y medio (es decir, se reabsorben los casi 180 litros filtrados. Esto quiere decir, que en 24 horas la sangre se filtra unas 36 veces).

Cabe preguntarse el porqué de un proceso tan complejo en el que, primero se tira casi todo y luego se recupera una gran parte, pareciendo más fácil seleccionar solo lo que se debe tirar. Tampoco parece lógico que se reabsorba la mayor parte de la urea, un producto tóxico que debe ser eliminado. Pero nuestros riñones son fruto de la evolución y tal como son funcionan perfectamente: un buen diseñador quizás los habría hecho más sencillos, pero no más eficaces.



OTRAS FUNCIONES FUNDAMENTALES DE LOS RIÑONES

Aunque hemos considerado la excreción como la función principal del aparato urinario, no debemos olvidar su importancia como mecanismo **regulador de la presión osmótica**, al controlar la cantidad de agua y sales del medio interno y así, nuestros riñones pueden producir una orina más diluida o más concentrada en función de los valores de presión osmótica. Por otra parte, pero en relación con lo anterior, los riñones juegan un papel importantísimo en el **control de la presión arterial**, ya que un exceso de líquido en la sangre provoca una hipertensión que la filtración renal puede hacer disminuir.

CONTROL DEL PROCESO DE FORMACIÓN DE LA ORINA

El control de la formación de la orina está a cargo del sistema **nervioso**, que actúa regulando el calibre de las arteriolas aferentes y eferentes (estar nervioso ante un examen y tener unas ganas enormes de orinar es un hecho conocido) y el **hormonal**, secretándose la **hormona antidiurética** (ADH), también llamada **vasopresina**, por parte de la *hipófisis*, una glándula cerebral cuya acción es la de provocar el aumento de la reabsorción de agua por las células de los túbulos. (Antidiurética → para no orinar; si retienes líquido en vez de eliminarlo aumenta la presión sanguínea → vasopresina).

El acto de vaciar la vejiga de la orina se denomina **micción** (hay muchos sinónimos para este término). También existe un control, en este caso de tipo nervioso. Conforme la orina va llegando a través de los uréteres, las fibras musculares de la vejiga van distendiéndose y a la vez, sensores de estiramiento envían señales al sistema nervioso central. Cuando la vejiga está llena, un centro situado en el encéfalo lo sabe y hace que se relaje el esfínter interno, creando además la sensación consciente de "ganas de orinar". El esfínter externo tiene control voluntario y su manejo requiere un aprendizaje que se alcanza aproximadamente cuando el niño tiene unos dos años de edad.

La insuficiencia renal es una dolencia que sin tratamiento puede llegar a ser mortal. Tiene dos posibles soluciones, una de ellas es la **hemodiálisis**, mediante el cual una máquina con membranas semipermeables filtra la sangre del paciente eliminando el exceso de urea y de sales. En pacientes con insuficiencia renal severa, el filtrado de su sangre en el riñón artificial requiere de varias horas dos o tres días a la semana. Esta máquina, no obstante, hace un filtrado grosero pero no es capaz de seleccionar los distintos componentes de la sangre de una forma tan perfecta como lo hacen los riñones. Hay otra solución, más satisfactoria para el problema de la insuficiencia renal que es el trasplante renal. Con un solo riñón puede llevarse a cabo una vida normal.