

UDS

UNIVERSIDAD DEL SURESTE



4to Parcial

**CLINICAS MÉDICAS
COMPLEMENTARIAS**

*Anatomía
y
Fisiología renal*



Karen yurenni Martínez Sánchez

Dr. Ricardo Acuña

El riñón es un órgano par que se ubica en la región retroperitoneal, entre el nivel de la doceava vértebra torácica y la tercera vértebra lumbar, su aspecto normal semeja un frijol de gran tamaño, el riñón derecho se ubica en posición más baja al ser desplazado por el hígado, tienen una longitud de 12 ± 2 cm, amplitud 6 cm y grosor 3 cm, su peso en un adulto normal es de 150 a 170 gramos. Por el hilio renal a cada riñón llega una arteria y egresa una vena, la vena renal del lado izquierdo es más larga que la del lado derecho. Cada riñón está rodeado de la grasa perirrenal, tejido abundante también en el hilio donde ecográficamente genera imágenes características por su ecogenicidad. En la parte superior de los riñones se encuentran las glándulas suprarrenales.

La estructura del riñón viene determinada por su función:

- Depurar de la sangre todos los productos de desecho producidos por el organismo, para evitar la intoxicación por urea (uremia).
- Asegurar que la orina contiene la misma agua que se ha bebido y el mismo sodio, potasio, calcio, magnesio y cloro que se ha ingerido para mantener el balance.
- Fabricar el bicarbonato que se destruye cada día con la dieta (1mEq de bicarbonato/kg/día).
- Fabrica las cuatro hormonas renales: eritropoyetina, renina, $1,25\text{OH}_2\text{D}_3$ (forma activa de la Vitamina D) y klotho.

Cada riñón está organizado en un millón de estructuras llamadas nefronas. Un elemento de procesado, el túbulo, que añade a la orina lo que el glomérulo no haya podido filtrar, recupera lo que se haya filtrado pero no se quiera perder y, finalmente, ajusta las cantidades resultantes de agua, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro. Estas funciones se hayan repartidas a lo largo del túbulo; por eso, al estudiar el túbulo, se divide en secciones para entender cómo cada segmento contribuye a la función global del mismo.

Vascularización del riñón. La arteria renal principal se divide en dos ramas principales: ventral y dorsal, de las que salen ramas lobares, interlobares, arciformes (corren horizontalmente en la base de las pirámides renales, separando la corteza de la médula) e interlobulares. De estas salen las arteriolas aferentes que van al glomérulo donde forman el capilar glomerular. Salen del glomérulo formando la arteriola eferente. De las eferentes salen los *vasa recta* que entran en la médula acompañando a las asas de Henle, y los capilares peritubulares que rodean e irrigan a los túbulos proximal y distal de la corteza. Los capilares peritubulares confluyen en vénulas poscapilares y estas en venas que acaban formando la vena renal. La vena renal izquierda recibe el drenaje de la vena gonadal izquierda, por lo que una trombosis de la vena renal izquierda, produce un varicocele izquierdo en el varón, o una congestión pélvica en la mujer. La vena gonadal derecha desemboca directamente en la cava.

Glomérulo. Está constituido por un elemento vascular, el ovillo capilar, y un elemento epitelial en forma de copa, la cápsula de Bowman, que contiene al ovillo capilar, recoge el ultrafiltrado y lo dirige hacia el túbulo proximal. La función primordial del glomérulo es llevar a cabo el ultrafiltrado (ultra filtrado = filtrado sin proteínas) del plasma. Por las arteriolas aferentes entran 1.200 ml de sangre por minuto (flujo sanguíneo renal = 20% del gasto cardíaco= 1.200 ml/min). El flujo plasmático renal viene a ser la mitad del flujo sanguíneo renal (FSR): 600 ml/min. Se mide mediante el aclaramiento de paraaminohipúrico (PAH). De los 600 ml/min de flujo plasmático renal, el 20% se filtra, constituyendo el filtrado glomerular (FG = 120 ml/min; fracción de filtración=FG/IPR = 20%). El FG se mide mediante el aclaramiento de insulina o el aclaramiento de creatinina. El aclaramiento de creatinina requiere medir la eliminación de creatinina en orina de 24 horas. El aclaramiento de creatinina tiene unos valores normales de 120 ml/min. Para este valor de aclaramiento la concentración plasmática de creatinina en suero es de 0,6-1,2 mg/dl. El filtrado glomerular también se puede estimar a partir de la creatinina en sangre sin tener que medir la creatinina en orina mediante fórmulas validadas en grandes grupos de población. El plasma que sale por la arteriola eferente es de $600 - 120 = 480$ ml/min, es decir, que la sangre en la arteriola eferente está más

concentrada: tiene un hematocrito entre un 5% y un 10% más alto que la sangre en la arteriola aferente. Esta mayor concentración facilita las trombosis. Un filtrado glomerular de 120 ml/min equivale a afirmar que se filtran en total 180 l/día. Es decir, que la totalidad del líquido plasmático pasa unas 60 veces diarias por los filtros de los riñones. Para regular y mantener constante esta filtración, los dos elementos críticos son: 1) la presión de filtración, y 2) la permeabilidad del ovillo.

Presión de filtración: Debe mantenerse constante frente a variaciones en la presión en el resto del cuerpo ("autorregulación"). Se consigue regulando la dilatación/concentración de las arteriolas: Cuando la perfusión renal es adecuada, la autorregulación depende de la arteriola aferente, y está controlada por endotelina (vasoconstrictor) y péptido natriurético atrial y óxido nítrico (NO) (vasodilatadores). Si aumenta la presión de la sangre que llega al riñón, aumenta la resistencia aferente y la presión de filtrado en el ovillo capilar es la misma, si cae la presión de la sangre que llega al riñón, se reducen las resistencias aferentes y la presión de filtrado sigue constante. Pero si la perfusión renal sigue cayendo, la arteriola aferente se comienza a colapsar al no poderse llenar con la sangre que llega. Esta pérdida de tensión parietal es detectada por las células productoras de renina localizadas en la pared de la arteriola aferente. Si la perfusión renal es mala, la renina procedente de la arteriola aferente aumenta la síntesis de angiotensina 11 (y angiotensina 11 la de prostaglandinas) que actúa sobre la arteriola eferente. Las prostaglandinas hacen que el aumento de resistencias no se extralimite, contrarrestando parcialmente el efecto vasoconstrictor de angiotensina 11, y haciendo que el aumento de resistencias sea el mínimo imprescindible para mantener constante el filtrado. Cuando hay hipoperfusión renal, el filtrado glomerular depende del equilibrio entre angiotensina 11 y prostaglandinas sobre la arteriola eferente: la administración de inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECA), antagonistas de los receptores de la angiotensina 11 (ARA 11) o antiinflamatorios no esteroideos (AINE) cuando hay hipoperfusión renal rompe este equilibrio y reduce bruscamente el filtrado glomerular.

Permeabilidad del ovilleo. Una parte de la circunferencia del capilar está rodeada por la membrana basal, que está a su vez rodeada por las células epiteliales procedentes de la cápsula de Bowman, que a este nivel tienen una diferenciación especial y adoptan la morfología de podocitos. Los podocitos son células epiteliales (del mismo origen que las células del túbulo).

Túbulo renal. El glomérulo forma cada día 180 litros de ultrafiltrado, que tiene dos características: No hay moléculas de más de 7.000 daltons (no hay proteínas), tiene la misma composición iónica que el plasma, no es un líquido demasiado apropiado para ser excretado. Junto a las moléculas que hay que eliminar, contiene sustancias que no se deben perder, pero que han sido filtradas porque son pequeñas: glucosa, aminoácidos, bicarbonato, fosfato. La orina que se excrete debe estar equilibrada con los líquidos y electrolitos que el sujeto haya ingerido.

Las funciones del túbulo serán:

1. Recuperar de la luz todo lo que no se quiere perder: reabsorción.
2. Segregar a la luz lo que se quiere perder y no haya sido filtrado: secreción.
3. Ajustar el volumen y composición final de la orina en función del sujeto.

Se habla de excreción como la resultante de: $\text{Excreción} = \text{Filtrado} + \text{Secreción} - \text{Reabsorción}$. El túbulo nace como continuación del glomérulo, tiene un recorrido cortical, hace una horquilla o asa con la que puede o no llegar hasta la médula (nefronas yuxtarglomerulares frente a corticales), un nuevo recorrido cortical, y baja finalmente hasta la papila con el segmento conocido como túbulo colector, que baja rodeado por las horquillas de las nefronas que lo rodean.

En cada segmento deben estudiarse estos cuatro elementos:

4. Movimiento de solutos. Sistemas de transporte más relevantes.
5. Movimiento de agua. Permeabilidad al agua del sujeto en cuestión.
6. Diuréticos.
7. Implicaciones del segmento en patologías renales

Túbulo proximal. Recibe 180 litros al día de ultrafiltrado y debe reabsorber el 80% de todo lo filtrado. **Diuréticos:** Todo el movimiento de agua y electrolitos se inicia a

partir de la reabsorción de bicarbonato. Si esta se inhibe, se producen grandes diuresis con bicarbonato, agua, cloro, sodio y potasio. El diurético que hace esta función es la acetazolamida que lo consigue inhibiendo la anhidrasa carbónica. Su efecto diurético es proporcional al [bicarbonato] en el ultrafiltrado. Si la $[HCO_3^-]$ se reduce (acidosis metabólica), la acetazolamida pierde su efecto. Por eso, al usarla, el efecto va siendo cada vez menor a medida que va provocando la pérdida urinaria de bicarbonato. La nefrona distal es menos permeable al agua y a los iones que la proximal.

Asa de Henle. Sigue al túbulo proximal. Se hunde profundamente en la médula interna, hace un giro de 180° (horquilla del asa) y vuelve a subir hacia la corteza. Por tanto, existe el asa descendente y el asa ascendente, con características muy distintas. Su trabajo consiste en tomar a nivel del asa ascendente una parte de los osmoles de la orina, enviándoles hacia atrás de nuevo, hacia el asa descendente, y dejando que el agua siga en la orina. Al repetir una y otra vez este proceso, consigue que la orina que baja por el asa descendente esté cada vez más concentrada, al tiempo que la que sube por el asa ascendente esté cada vez más diluida. De modo secundario, este segmento está implicado en la reabsorción del Mg^{++} . **Diuréticos:** Los diuréticos del asa son la furosemida, bumetanida y torsemida. Los dos inhiben el transportador $Na^+:K^+:2Cl^-$. Impiden la formación del gradiente (+) en la luz tubular, así que inhiben la reabsorción de Mg^{++} Impiden la contracorriente, por lo que hacen que la orina no se pueda diluir ni concentrar (véase más adelante), produciéndose "isostenuria" = (Os Osm/ Esta propiedad es útil en el tratamiento del síndrome de secreción inadecuada de hormona antidiurética (SIADH). Pero la mayor parte de los efectos secundarios de los diuréticos del asa se deben a la eliminación de grandes cantidades de Na^+ hacia los segmentos distal y colector cortical, y finalmente hacia la orina.

Túbulo distal. Sigue al asa ascendente de Henle y se localiza de nuevo en la corteza. Es impermeable al agua y sigue transportando Cl^- y Na^+ , así que colabora en la dilución de la orina, ajusta el balance final de calcio, regulado por PTH. Por último, es responsable del feed-back tubuloglomerular, que es la regulación del

filtrado glomerular por la actividad de una zona del túbulo distal conocida como "mácula densa" que envía señales al resto del aparato yuxtaglomerular. **Movimiento del agua:** El túbulo distal sigue siendo impermeable al agua. Cuando este reabsorbe Na^+ y Cl^- , el agua se queda en la luz del túbulo, así que la orina va estando cada vez más diluida. En el túbulo distal se consigue que la orina llegue a tener una osmolaridad menor que la plasmática ("segmento dilutor"). **Feed-back tubuloglomerular.** Una parte del túbulo distal está en contacto con la arteriola aferente; es la mácula densa. Cuando se produce una disfunción o una lesión del túbulo proximal o del asa de Henle por la que estos dejan de reabsorber, la situación es peligrosa ya que se puede perder mucho fluido por la orina. Cuando esto ocurre, la mácula densa detecta un aumento en la llegada de Na^+ y segrega adenosina, que actúa sobre los receptores A-1 de la arteriola aferente, contrayéndola y disminuyendo el filtrado del glomérulo cuyo túbulo proximal o asa de Henle están lesionados

Túbulo colector cortical. Es impermeable al agua. Transporta pequeñas cantidades de Na^+ que le sirven para determinar la cantidad de K^+ y de H^+ que se van a eliminar por la orina. Este segmento está controlado por aldosterona es el responsable de la alcalosis hipopotasémica que se ve en el hiperaldosteronismo, y de la acidosis hiperpotasémica que acompaña al hipoaldosteronismo o al síndrome de Addison. Hay dos tipos de células: las principales ("células claras"), que reabsorben Na^+ , y las intercaladas ("células oscuras") que segregan H^+ .

- **Reabsorción de Na^+ .** El túbulo tiene canales apicales de Na^+ que permiten la reabsorción del mismo. Pero no hay canales de Cl^- por lo que esta diferente permeabilidad para el Na^+ y el hace que al reabsorberse el Na^+ , se cree en la luz tubular un gradiente electrónico negativo, que va a facilitar la salida del K^+ desde la célula a la luz a través de canales de K^+ . La aldosterona activa tanto los canales de Na^+ como los de K^+ , favoreciendo la reabsorción de Na^+ y la eliminación de K^+ hacia la orina. En el hipoaldosteronismo, no se reabsorbe Na^+ (situación "pierde-sal", tendencia a la hipotensión) ni se elimina K^+ (hiperpotasemia).

➤ **Excreción de H⁺.** En las células intercaladas, la aldosterona activa el funcionamiento de la bomba de H⁺ apical que segrega H⁺ hacia la luz. La existencia del gradiente eléctrico negativo generado por la reabsorción de Na⁺, facilita la secreción de H⁺. Cada vez que se bombea un H⁺ a la luz, se genera un HCO₃⁻ en la célula intercalada que es enviado hacia el capilar. Los que se segregan son mayoritariamente atrapados por el NH₃ urinario procedente de la amoniogénesis proximal.

Movimiento de agua: El colector cortical es impermeable al agua. A medida que se va transformando en túbulo colector médula, su impermeabilidad al agua va siendo regulada por ADH. Cada día abandonan este segmento 20 l/día de orina = con Osm50-100 mOsm/kg.

Túbulo colector medular. A lo largo del túbulo colector persisten las funciones del colector cortical: y sigue habiendo algo (muy poco) de reabsorción de Na⁺, y sigue habiendo secreción de W para mantener el pH en orina ácido. el efecto más importante es que este segmento regula el contenido en agua de la orina final, por lo que va a determinar tanto el volumen de diuresis como la concentración final de orina. El volumen variará entre 0,5 y 20 l, y la concentración entre 50 y 1.500 mOsm/kg. Ambos parámetros son ajustados aumentando o disminuyendo la secreción de la hormona ADH (antidiurética), para adaptar el volumen de la orina y al líquido ingerido, la concentración de la misma al sólido ingerido. **Transporte de electrolitos:** Sigue habiendo reabsorción de Na⁺ a través de canales de Na⁺, secreción de H⁺ a través de la bomba de H⁺. A medida que el túbulo colector y entra más profundamente en la médula la papila, disminuye el transporte de Na⁺ aumenta el de H⁺.

Movimiento de agua. Al inicio del túbulo colector llegan cada día 20 litros de orina diluida, con una osmolaridad de 50-100 mOsm/kg. El túbulo colector baja paralelo al asa de Henle, donde la contracorriente ha ido aumentando la osmolaridad intersticial hasta 1.200 mOsm/kg. El transporte de agua depende de la permeabilidad al agua del túbulo: si es impermeable, no se reabsorbe agua y se eliminan grandes volúmenes de agua pero no osmoles; si es permeable, se

reabsorbe mucha agua, y se elimina una orina con un volumen menor pero con osmolaridades más altas.

Diuréticos: En este segmento actúan los que son inhibidores de los receptores V2. El tolvaptán y conivaptan son inhibidores de los receptores V2. Al inhibir V2, ADH no puede ejercer su efecto, el túbulo colector permanece impermeable al agua y se elimina una orina abundante y diluida. El tolvaptán y conivaptan, son útiles para eliminar agua, pero no sirve para eliminar sal. La forma en que se sabe que el organismo tiene un exceso de agua es ver la concentración de Na^+ en plasma. Si hay exceso de agua, el Na^+ está muy diluido y se ve que existe hiponatremia. Ambos fármacos se usan en condiciones que cursan con hiponatremia euvolemica o hipervolemica. Otros fármacos que impiden el efecto de ADH son el litio y la demeclociclina. Se usan en el tratamiento de la secreción inadecuada de ADH (SIADH).

BIBLIOGRAFÍAS:

- ✓ Inés Aragoncillo Saucó, M.^a Laura Bucalo, Abraham Rineón Bel lo, Alberto Tejedor Jorge, Almudena Vega Martínez, Claudia Yuste Lozano, Dora María Marín Guizar. (2017). Manual CTO de Medicina y Cirugía 3a Edición, Nefrología ENARM-México. Madrid, España: Grupo CTO.
- ✓ KOEPPEN B M, STANTON B A; Renal physiology; 4th edition; Philadelphia; Mosby Elsevier; 2007; 1-228.
- ✓ Dr. César Augusto Restrepo Valencia. (2007). ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA RENAL, Revista Nefrología Básica vol.2, pp. 7-16.
- ✓ Cameron JS. The patient with proteinuria and/or haematuria. En: Davison AM, Cameron JS, Grünfeld JP, Kerr DNS, Ritz E, Winearls CG. Oxford Textbook of Clinical Nephrology, 2nd, Oxford University Press, Oxford, 1998: 441-447.