

# ANATOMIA Y FISIOLOGIA RENAL

ENERO 2021

DR. RICARDO ACUA DE SAZ

**ANATOMIA 1.1. Anatomía macroscópica** El sistema urinario está compuesto por los riñones, dos uréteres, una vejiga y la uretra, situados en la cavidad abdominal. Analizaremos por separado cada uno de ellos. Los riñones: Los riñones son dos órganos que poseen la forma de haba o de fríjol, con un tamaño promedio de 10 a 12 cm de longitud, 5 a 7 cm de anchos y de 3.5 a 5 cm de grosor. Pesan en promedio 135 a 150 gramos. Están situados en la parte posterior y superior del abdomen (generalmente entre la última vértebra torácica y la 3ª lumbar). Están recubiertos de una cápsula de tejido fibroconectivo delgado. Para su estudio se pueden establecer cuatro En la cara interna se encuentra una depresión denominada el hilio, punto de entrada y salida de los vasos sanguíneos (arterias y venas renales) y de los conductos excretores (los uréteres). El polo superior del riñón está en relación con las cápsulas suprarrenales. La cara externa es convexa.

Uréteres, vejiga y uretra. Los uréteres (derecho e izquierdo) conectan con la vejiga (que es única), a la cual llegan por la cara posterior. Los uréteres son tubos estrechos de 25 a 30 cm de longitud, con un diámetro desde 1 a 10 mm. La vejiga urinaria es un órgano muscular hueco, distensible, situado en la cavidad pélvica. En las mujeres está situada por delante de la vagina y debajo del útero. La forma depende de la cantidad de orina que contenga. En reposo y vacía, se colapsa; en caso de poca orina, adopta una forma esférica; cuando está llena adopta una forma de pera y se eleva en la cavidad abdominal. Su capacidad de almacenamiento de orina varía desde 700 ml a 800 ml. La capacidad disminuye en las mujeres debido al espacio que ocupa el útero. En su parte inferior posee el orificio uretral interno que es el origen de la uretra. La uretra es un tubo conductor que va desde el orificio uretral interno hasta el meato externo u orificio uretral externo. En los hombres, su longitud promedio es de 15 a 20 cm, mientras que en las mujeres es de tan solo 4 cm. En los hombres, la uretra posee tres porciones: a) la uretra prostática que pasa por entre la próstata, b) la uretra membranosa, que es la porción mas corta y se relaciona con el diafragma urogenital y c) la uretra esponjosa, relacionada con el trayecto a través del pene. Tanto en los hombres como en las mujeres, la uretra es la porción terminal del sistema urinario y la vía de paso para expulsar orina del cuerpo.

**1.2. Anatomía microscópica** Un corte a través del riñón revela dos regiones

distintas: la corteza renal (la parte mas externa) y la médula renal. En la médula renal se encuentran una serie de estructuras en forma de cono que se denominan pirámides renales. Pueden variar entre 8 y 18 pirámides. La base de pirámide (extremos mas ancho) está en relación con la corteza renal mientras que el vértex o ápice que también se denomina papila renal (extremo mas estrecho) apunta hacia el centro del riñón. Las porciones entre las pirámides renales que se denominan columnas renales. Los ápices renales se reúnen en otras estructuras denominadas cálices menores. Estos cálices a su vez se La anatomía interna tiene mucha relación con la irrigación del riñón. La arteria renal, al llegar a la pelvis renal se divide en varias arterias segmentarias. Estas arterias a su vez se subdividen y pasan a través de las columnas renales en medio de las pirámides bulbares constituyendo las arterias interlobulares. En la base de las pirámides, las arterias interlobulares se arquean al pasar entre la médula y la corteza renal; debido a esto se denominan arterias arqueadas o arciformes. De estas emergen otras arterias mas pequeñas llamadas interlobulillares que se introducen dentro del parénquima renal formando las arteriolas aferentes, que son el pilar anatómico y funcional de otra estructura que se conoce como la nefrona. Cada riñón posee alrededor de 1 millón de nefronas. La nefrona es la unidad anatómica y funcional del riñón. Está conformada por dos partes: a) el corpúsculo renal y b) los túbulos renales. Alrededor del 80% de las nefronas se ubican en la corteza renal por lo cual se denominan corticales y el restante 20% se ubican cerca de la médula renal por lo que se llaman yuxtamedulares.

El corpúsculo renal tiene forma de esfera y está conformado por el glomérulo renal y la cápsula de Bowman o cápsula glomerular. Este corpúsculo tiene dos polos: a) el vascular, por donde entran y salen la arteriola aferente y la eferente, y b) un polo urinario, en la cara contraria, por donde inicia el túbulo contorneado proximal. El glomérulo renal está conformado por múltiples capilares derivados de la arteriola aferente. En las proximidades de esta arteriola con el glomérulo renal, aparecen las células yuxtglomerulares, ubicadas en la capa media, encargadas de la producción de renina y la enzima convertidora de angiotensina. A semejanza de todos los capilares del sistema circulatorio, estos capilares a su vez se van reagrupando y

uniendo para conformar la arteriola eferente, es decir, la arteriola que sale de la nefrona. La arteriola aferente siempre es de mayor diámetro que la eferente. El endotelio que recubre estos capilares glomerulares es muy delgado y presenta poros esféricos de aproximadamente 500 a 600 Å de diámetro.

La cápsula renal envuelve al glomérulo renal y consta de dos capas: a) la capa visceral y b) la capa parietal. Entre estas dos capas se forma un espacio, el espacio capsular. La capa parietal de la cápsula está compuesta por un epitelio escamoso simple que luego se integra con el epitelio del túbulo contorneado proximal. La capa parietal está formada por una capa de células epiteliales modificadas denominadas podocitos, los cuales envuelven en forma de pie (de donde deriva su nombre) las células endoteliales de los capilares del glomérulo renal. Estos podocitos poseen unas aberturas que se llaman hendiduras de filtración, que es por donde pasa gran parte de la sangre que sale de los capilares glomerulares. Todos ellos desembocan en el espacio capsular y por último, al túbulo contorneado proximal.

Los túbulos renales, como su nombre lo indican son pequeños tubos (40 mm de longitud) que conducen la sangre que ha pasado por la cápsula renal y su característica anatómica es que parecen estar enroscados en forma de espiral (de ahí deriva el nombre de contorneado) . De acuerdo a la cercanía al glomérulo, se subdividen en: a) el túbulo contorneado proximal (TCP) b) asa de Henle (AH) c) túbulo contorneado distal (TCD) y d) túbulo colector (TC). La unión de varios túbulos colectores conforman los cálices menores y mayores. Finalmente, se forma un solo conducto de salida de cada riñón, los uréteres derecho e izquierdo. El túbulo contorneado proximal (TCP) inicia en el polo urinario del glomérulo renal y termina en el asa de Henle; en su recorrido muy sinuoso recorre aproximadamente unos 14 mm, con un diámetro de 60 micras. Es el túbulo mas largo y mas ancho de todos los segmentos de la nefrona. Está compuesto por un epitelio cilíndrico simple de aspecto piramidal con unas 6-12 células en el diámetro. Estas células poseen microvellosidades largas y delgadas, muy juntas, mitocondrias, lisosomas, indicando un mecanismo para absorción de sustancias. En sus partes laterales, estas células presentan interdigitaciones que las hacen funcionar como una sola. El

asa de Henle tiene una parte recta descendente (continuación del TCP), un segmento curvo o asa de Henle y un segmento recto, denominado ascendente que se une al túbulo contorneado distal (TCD). Las asas de Henle de la región yuxtamedular son largas mientras que las corticales son cortas. En la rama descendente, el epitelio cambia de manera rápida luego del TCP, pasando a ser un epitelio plano, con pocas microvellosidades y un diámetro de 14 a 22 micras. En la rama ascendente el cambio de epitelio también es súbito y vuelve a ser de tipo cúbico, con un diámetro de 30 a 50 micras. El túbulo contorneado distal (TCD) es también un tubo flexuoso, corto, que se subdivide en: a) una parte recta, que es la prolongación de la porción ascendente del asa de Henle, o extremo grueso del asa de Henle; tiene una longitud de 9 a 10 mm y unos 30 a 40 m de diámetro. Esta compuesto por un epitelio cuboideo y pocas microvellosidades cortas. b) una parte en contacto con el polo vascular del glomérulo renal o mácula densa. Esta región se ubica entre las arteriolas aferente y eferente. Las células de esta región son cúbicas, altas y con muchas microvellosidades. c) una porción contorneada por túbulo contorneado distal. Estos tubos son cortos (4 a 5 mm) con un diámetro de 25 a 45 m. Su epitelio es cuboide bajo, con pocas microvellosidades.

## FISIOLOGÍA RENAL

Filtración glomerular: La cantidad de sangre que pasa por el riñón o flujo sanguíneo renal (FSR) es de aproximadamente 1.1 L/min., en una persona adulta de 70 kg. Considerando que la sangre que sale del corazón por minuto (gasto cardiaco) es de 5 litros/min., los riñones reciben el 20-25% del gasto cardiaco, el cual es filtrado en un lapso de 5 minutos. De los 1.1 l/min. que pasan por el riñón, tan solo 125 ml/min. pasan por entre los glomérulos renales, volumen que se denomina tasa de filtración glomerular. La presión de filtración es uno de los factores determinantes para que el plasma de la sangre pase por entre la membrana glomerular, por lo tanto, nos detendremos a analizar los factores de los cuales depende. La presión puede ser de dos orígenes: a) del agua (presión hidrostática) o b) de las proteínas (presión oncótica). La presión hidrostática en el capilar glomerular es de 60 mmHg, mientras que en la cápsula de Bowman es de 15 mmHg. La presión oncótica en los capilares

glomerulares de 21 mmHg y en la cápsula de Bowman es de cero (Gráfico 6). La presión resultante o presión eficaz de filtración (PEF) es la suma algebraica de todas estas presiones. Por lo tanto, la ecuación será la siguiente:  $PEF = (PH_2O \text{ Cap Glom} - PH_2O \text{ Cap Bow}) - (P \text{ PROT Cap Glom} - P \text{ PROT Cap Bow})$   $PEF = (60 \text{ mmHg} - 15 \text{ mmHg}) - (21 \text{ mmHg} - 0 \text{ mmHg})$   $PEF = 24 \text{ mmHg}$  Esta presión varía a lo largo de los capilares glomerulares de manera que al comienzo es de 24 mmHg mientras que al final es de 10 mmHg.

El volumen de plasma que se filtra por unidad de tiempo desde los capilares glomerulares a la cápsula de Bowman se conoce como tasa de filtración glomerular (TFG). La TFG no solo depende de la presión de filtración efectiva (PFE) sino que también depende de la permeabilidad de las membranas glomerulares al agua (permeabilidad hidráulica) y del área de superficie filtrante.  $TFG = \text{Permeabilidad hidráulica} \times \text{área de superficie} \times PEF$  Al producto de la permeabilidad hidráulica por el área de superficie se denomina coeficiente de filtración (Kf). De esta manera la  $TFG = Kf \times PEF$ . En una persona de 70 Kg de masa corporal, la TFG es de 180 L/día (125 mL/min.) En otras regiones del cuerpo, la filtración a una presión de 10.12 mmHg es de 4L/día, lo que indica que la enorme cantidad de filtrado del riñón depende de Kf (10 a 100 veces mayor que en otros capilares) y la gran superficie de intercambio de los glomérulos renales. La barrera de filtración (células endoteliales, lámina basa, podocitos) impiden la salida de las células sanguíneas y de las macromoléculas, por lo tanto el ultrafiltrado es similar al plasma. La lámina basal atrapa las moléculas mayores de 69.000 daltons (por ejemplo, la albúmina). Las células endoteliales poseen polianiones que impiden el paso de sustancias con carga negativa. Las células mesangiales son las encargadas de limpiar la barrera de filtración. Aunque ya hemos mencionado el flujo sanguíneo renal como uno de los factores que influyen de una manera decisiva en la filtración glomerular, es necesario precisar otros fenómenos determinantes. El flujo sanguíneo renal es directamente proporcional a la presión en la arteriola aferente e inversamente proporcional a la resistencia al flujo, la cual a su vez guarda estrecha relación con el diámetro de los vasos. ( $FS = P / R$ ). Desde este punto de vista se podría pensar que si la presión en la arteriola renal se incrementa en un 50%, el flujo se

incrementaría en la misma proporción. Esta regla no es válida con respecto al riñón. El riñón posee un mecanismo de autorregulación de manera que, ante cambios de presión que oscilen entre 80 y 180 mmHg, el flujo sanguíneo y la filtración glomerular se mantengan constantes. Un aumento de la presión en la arteria renal desencadena una vasoconstricción en la arteriola aferente impidiendo de esta manera que la presión en los capilares glomerulares se incremente; por el contrario, si la presión en la arteria renal desciende, la arteriola aferente se vasodilata para mantener la presión y el flujo constante. Los mecanismos responsables de la autorregulación son: a) el mecanismo miógeno y b) el servomecanismo túbulo-glomerular. El mecanismo miógeno está basado en la capacidad que tiene el músculo liso de la arteriola aferente de responder con una contracción cuando la presión se incrementa y de relajarse cuando la presión se baja. En este sentido se parecería al mecanismo del huso muscular que se activa cuando la fibra muscular es alargada (al incrementar la presión en la arteriola, el diámetro de ésta tiende a aumentar debido a su estructura laxa y distensible) su respuesta es la contracción muscular. En este caso, el mecanismo subyacente es la entrada de  $Ca^{++}$  en la célula muscular lisa el cual desencadena la contracción. El servomecanismo túbulo-glomerular está basado en la producción de un agente vasoconstrictor (que parece ser la adenosina, puesto que la arteriola aferente posee receptores para esta sustancia) ante la subida de la presión arterial; ante el descenso de la presión, se desencadena el mecanismo de la renina-angiotensina que incrementa la presión. Dicho mecanismo se ampliará en el siguiente apartado.

2.2. Reabsorción y secreción tubular. El filtrado glomerular (FG) luego de pasar por la cápsula de Bowman para por el tubo contorneado proximal, que es el lugar donde se reabsorbe el 80% de todo el FG. Las siguientes son las sustancias que se reabsorben: a) Sodio (por diferentes mecanismos) b) Agua (por difusión) SISTEMA RENAL Y ACTIVIDAD FÍSICA GRamónS. Página 8 de 15 c) Glucosa y aminoácidos (mediante cotransporte con el sodio). d) Aminoácidos y pequeñas moléculas proteicas (por pinocitosis) e) Urea, vitaminas hidrosolubles, calcio y fosfato. f) Potasio y secreción de ácido úrico. En el tubo contorneado proximal (TCP): Se reabsorbe desde el 67% hasta el 80% del sodio, cloruro ( $Cl^-$ ) del FG. El sodio se

bombea en forma activa mediante una bomba de sodio dependiente de ATP; el cloruro sigue al sodio para conservar la neutralidad eléctrica y por el agua para mantener el equilibrio osmótico. Casi el 100% del bicarbonato y el 100% del agua del FG. Es reabsorbida toda la glucosa, los aminoácidos y algunas proteínas pequeñas que pasan. El TCP puede servir como elemento excretor de toxinas y fármacos que deben eliminarse con rapidez, como los hidrogeniones ( $H^+$ ), amoniaco, ácido úrico la penicilina o las catecolaminas (adrenalina o noradrenalina). Los TCP conservan cada día 140 gr de glucosa, 430 gr de sodio, 500 gr de cloruro, 300 gr de bicarbonato, 18 gr de potasio, 54 gr de proteínas y alrededor de 142 L de agua. La porción descendente del asa de Henle es muy permeable al agua, mas o menos permeable a la urea, el sodio, el cloruro y otros iones. La porción ascendente y delgada del asa de Henle: no es permeable al agua ni a la urea, pero si posee bombas para eliminación de cloruro y se cree que el sodio sale para mantener la neutralidad eléctrica. En esta parte de la nefrona el filtrado se torna muy concentrado. Esta parte de la nefrona crea un mecanismo que se ha denominado contracorriente, en el cual la osmolalidad del filtrado cambia desde muy baja en al asa descendente a muy alta en al ascendente de manera que las circunstancias son muy cambiantes en éstas áreas del riñón por lo que los factores que determinan la reabsorción de una sustancia pueden variar. La parte gruesa del asa de Henle forma parte del aparato yuxtglomerular que está compuesto por la mácula densa, las células yuxtglomerulares del arteriola aferente y las células mesangiales. Las células de la mácula densa al parecer vigilan el volumen del filtrado glomerular y la concentración de sodio. Si la concentración de este ión es menor del umbral específico, las células de la mácula densa pueden: Dilatar las arteriolas glomerulares aferentes para incrementar el flujo al glomérulo Estimular a las células yuxtglomerulares para que liberen renina a la circulación. Este hormona convierte el angiotensinógeno (presente en el torrente sanguíneo) en angiotensina I, un agente vasoconstrictor de ligera intensidad. En el pulmón, esta sustancia es convertida en angiotensina II por la enzima convertidora de angiotensina (ECA) que es una potente vasoconstrictora de las arteriolas eferentes. La angiotensina II estimula las células de la corteza suprarrenal para producir aldosterona que como

veremos mas adelante, actúa sobre el TCD. Los dos anteriores mecanismos incrementan la presión de filtrado glomerular, de manera que es un mecanismo de control automático para el control de la presión arterial general y de control del funcionamiento renal. El filtrado que llega al tubo contorneado distal, debido a los mecanismos de contracorriente es hipotónico. En ausencia de la hormona antidiurética (HAD) , el TCD y el tubo colector son impermeables completamente al agua, por lo que todo el filtrado que llegue a estas estructuras será eliminado por el riñón en forma de orina. En presencia de HAD, las células del tubo distal se tornan permeables al agua y a la urea. Esta acción torna a la orina hipertónica.

#### Bibliografía

FLORES. S (SF) "ANATOMIA RENAL" Universidad de Granada)