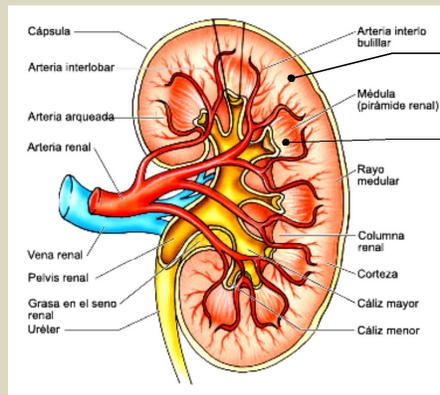


SISTEMA RENAL Y ACTIVIDAD FÍSICA

Conocimiento Corporal IV

Apuntes de Clase



Por:

Gustavo Ramón S.*

* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (Universidad de Granada)*.

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es

GRamónS.

SISTEMA URINARIO

1. Anatomía
2. Fisiología renal
 - a. Filtración glomerular
 - b. Reabsorción
 - c. Eliminación y excreción
3. Control de líquidos y electrolitos
4. Evaluación de la función renal
5. Actividad física y función renal
6. Anormalidades de la función renal

1. 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. Pesar 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 caras: una interna (relacionada con la columna vertebral), otra externa, una anterior y otra posterior (Figura 1).

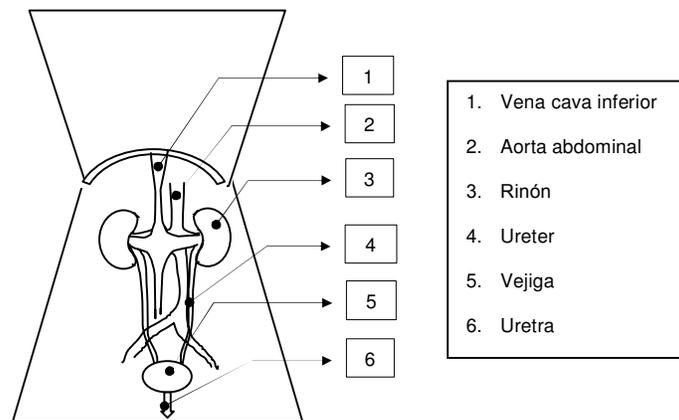


Figura 1. Esquema de la anatomía externa del sistema urinario.

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.

GRamónS.

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 (Figura 2): la corteza renal (la parte mas externa) y la médula renal (que es la mas interna).

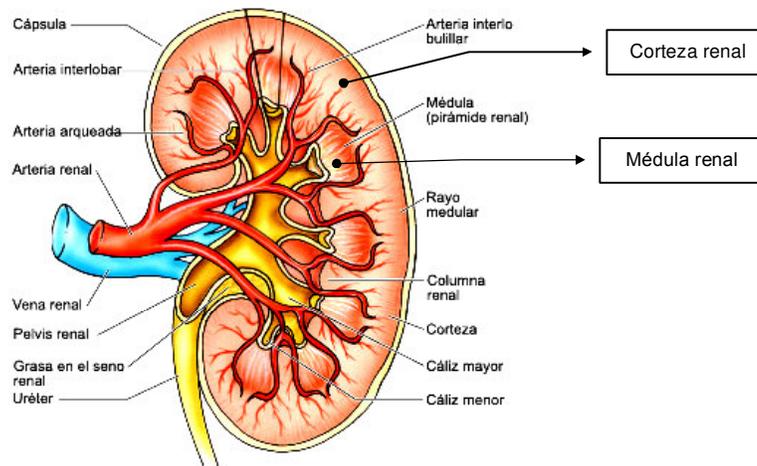


Figura 2. Estructura interna del riñón

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 (Figura 2). 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

GRamónS.

van agrupando para formar los cálices mayores y la unión de estos conforma las pelvis renal que es el origen de los uréteres.

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 (Figura 2) 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. (Figura 3).

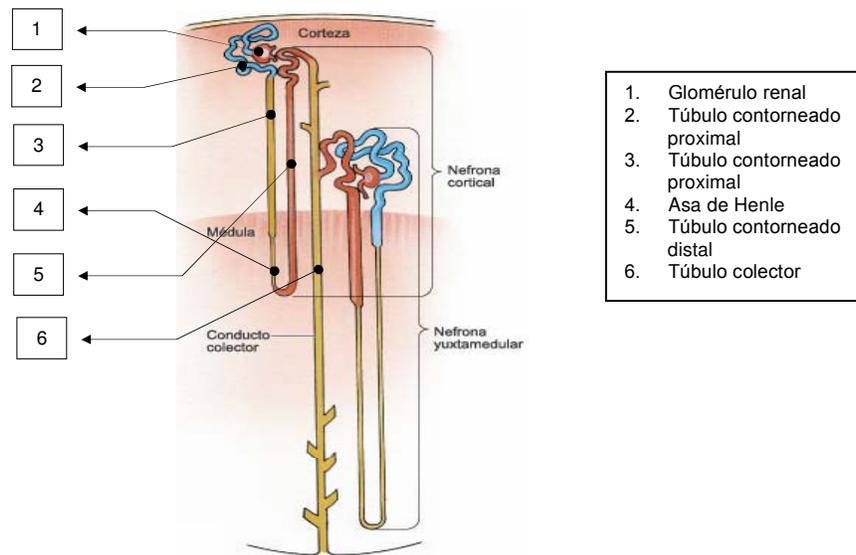


Figura 3. La nefrona y sus partes.

El corpúsculo renal tiene forma de esfera y está conformado por el **glomérulo renal** y la **cápsula de Bowman o cápsula glomerular** (Figura 4). 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 yuxtaglomerulares**, ubicadas en la capa media, encargadas de la producción de renina y la enzima convertidora de angiotensina (figura 4). 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.

GRamónS.

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.

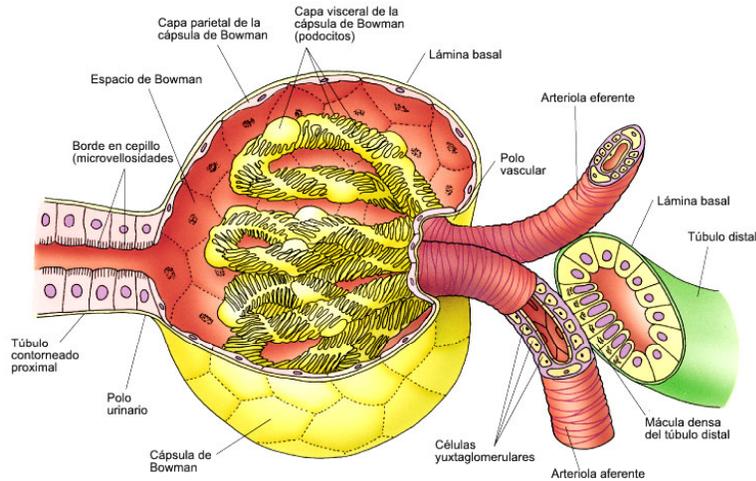
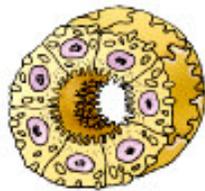


Figura 4. Estructura de un corpúsculo renal.

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.



Túbulo contorneado proximal

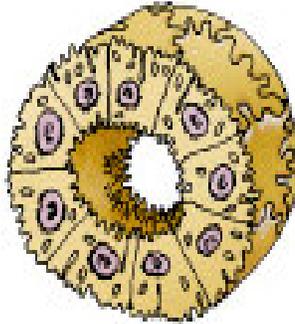


— Segmento delgado ascendente del asa de Henle

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

GRamónS.

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.



— Túbulo contorneado distal

El túbulo contorneado distal (TCD) es también un tubo flexuoso, corto, que se subdivide en:

- 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 μm de diámetro. Esta compuesto por un epitelio cuboideo y pocas microvellosidades cortas.
- 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.
- una porción contorneada por túbulo contorneado distal. Estos tubos son cortos (4 a 5 mm) con un diámetro de 25 a 45 μm . Su epitelio es cuboide bajo, con pocas microvellosidades.

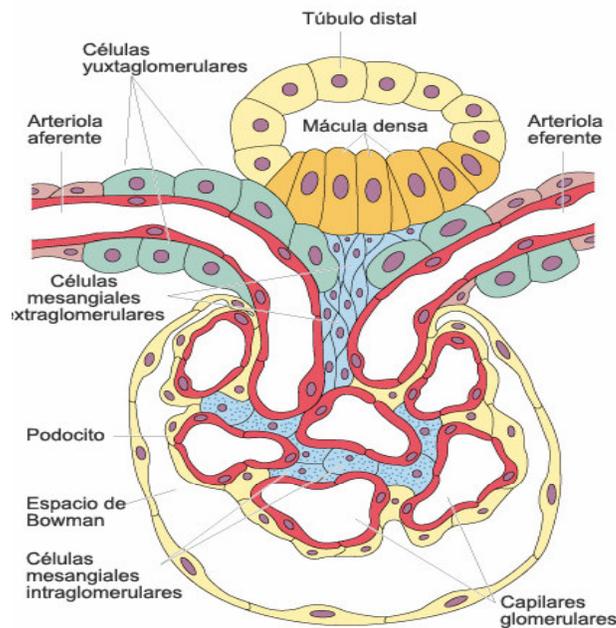


Figura 5. Aparato yuxtaglomerular

El aparato yuxtaglomerular consiste en la mácula densa del túbulo distal, las células yuxtaglomerulares de la arteriola aferente y las células mesangiales. La función de este aparato es ayudar al control de la presión arterial, controlando la producción de renina y angiotensina.

Finalmente, los túbulos colectores, son la interconexión entre los túbulos contorneados distales y los uréteres. No tienen el mismo origen embriológico que las demás partes de la nefrona,

GRamónS.

por lo que no se consideran como parte de la nefrona. En estos túbulos se pueden identificar dos tipos de células cuboides denominadas: a) células principales, sin función conocida y b) células intercaladas, cuya función es transportar y excretar de manera activa iones de hidrógeno. La confluencia de varios túbulos colectores se denominan conductos de Bellini, de mayor diámetro (200-300 μm) y son epitelio cilíndrico alto.

Los conductos excretorios del riñón los conforman los cálices menores y mayores, la pelvis renal, el uréter, la vejiga y la uretra.

2. FISIOLÓGÍA RENAL

2.1. 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 es 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:

$$\begin{aligned} \text{PEF} &= (P_{\text{H}_2\text{O}} \text{ Cap Glom} - P_{\text{H}_2\text{O}} \text{ Cap Bow}) - (P_{\text{PROT}} \text{ Cap Glom} - P_{\text{PROT}} \text{ Cap Bow}) \\ \text{PEF} &= (60 \text{ mmHg} - 15 \text{ mmHg}) - (21 \text{ mmHg} - 0 \text{ mmHg}) \\ \text{PEF} &= 24 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

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.

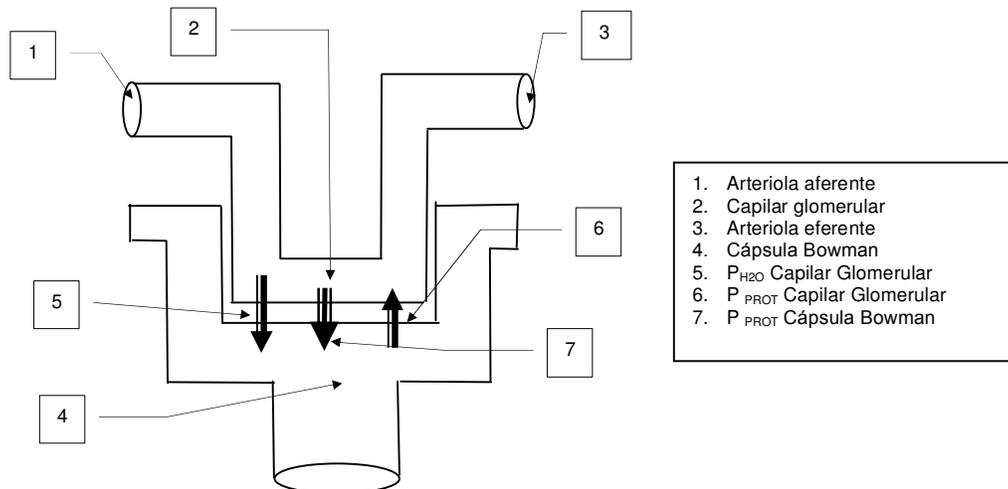


Figura 6. Fuerzas implicadas en la presión glomerular.

GRamónS.

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.

$$\text{TFG} = \text{Permeabilidad hidráulica} \times \text{área de superficie} \times \text{PEF}$$

Al producto de la permeabilidad hidráulica por el área de superficie se denomina *coeficiente de filtración (Kf)*. De esta manera la TFG = Kf x 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. ($FS = \Delta P / R$). 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)

GRamónS.

- 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 ($[\text{H}^+]$), amoníaco, 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 arteriolo 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 substancia 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.

GRamónS.

Es de resaltar que todos los elementos que son reabsorbidos en las diferentes partes de la nefrona pasan al sistema circulatorio pues los capilares arteriales y venosos de la médula renal son permeables al agua y a los electrolitos que se encontraban en el filtrado glomerular pero que fueron reabsorbidos por el epitelio de estos túbulos y que luego pasan al sistema circulatorio. Los cambios en la osmolaridad se mantienen tanto para el sistema de tubos del riñón como para el de los capilares sanguíneos.

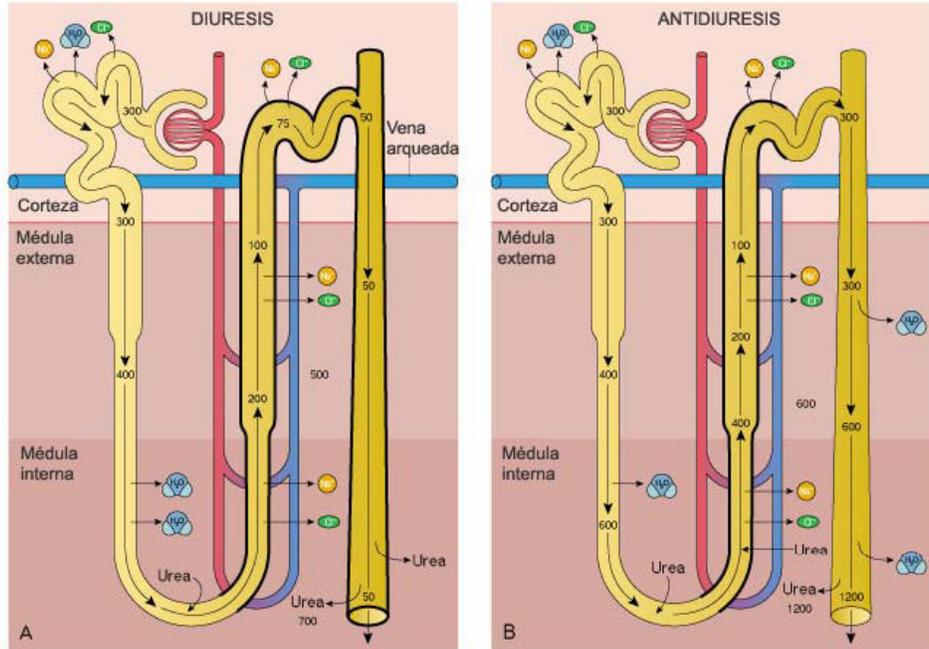


Figura 7. Filtración en cada una de las partes de la nefrona, en ausencia y en presencia de la hormona antidiurética.

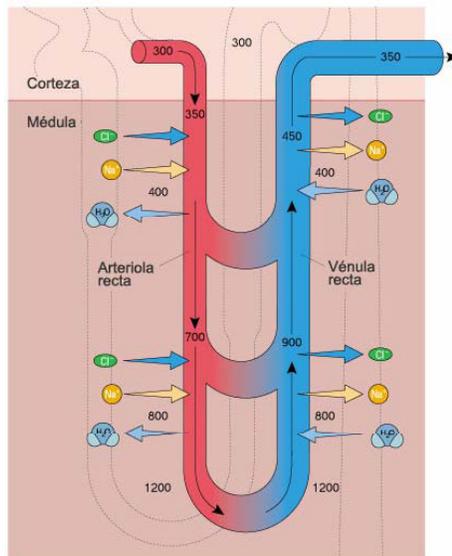


Figura 8. Osmolaridad de los vasos sanguíneos y flujos osmolares.

GRamónS.

Cuadro 1. Resumen de los procesos de absorción o eliminación que se llevan a cabo en la nefrona.

Parte de la nefrona	Absorción	Eliminación
Tubo contorneado proximal	Sodio (Na^+), Cloro (Cl^-), Potasio (K^+), Bicarbonato (HCO_3^-), Agua, Aminoácidos	Hidrogeniones ($[\text{H}^+]$), sales biliares, oxalato, uratos, catecolaminas, penicilina, salicilatos,
Asa de Henle, porción descendente	Agua, urea, sodio (Na^+)	
Asa de Henle, porción ascendente gruesa	Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg), Bicarbonato (HCO_3^-),	Hidrogeniones ($[\text{H}^+]$)
Asa de Henle, porción gruesa	Sodio (Na^+), Cloro (Cl^-), Potasio (K^+), Calcio (Ca^{++})	
Túbulo contorneado distal → porción proximal	Sodio (Na^+), Cloro (Cl^-), Potasio (K^+)	
Túbulo contorneado distal (porción final) y túbulo colector	Sodio (Na^+) → Células principales Sodio (Na^+) y Bicarbonato (HCO_3^-) → Células intercaladas	Potasio (K^+) → Células principales Hidrogeniones ($[\text{H}^+]$) → Células intercaladas

Cuadro 2. Resumen de las hormonas que actúa a nivel renal

Hormona	Sitio donde actúa	Efectos
Aldosterona	Tubo contorneado distal / Tubo colector	↑ Sal (NA Cl), ↑ absorción Agua, ↑ eliminación de K^+
Angiotensina II	Túbulo proximal	↑ Sal (NA Cl), ↑ Agua, ↑ eliminación de H^+
Hormona Antidiurética (ADH)	Tubo contorneado distal / Tubo colector	↑ Absorción de Agua
Péptido natriurético auricular	Tubo contorneado distal / Tubo colector	↓ Reabsorción de Sal (NA Cl) y agua
Hormona Paratiroidea (PTH)	Tubo proximal / Porción gruesa ascendente asa de Henle / Tubo contorneado distal	↓ Reabsorción de PO_4^- ↑ Reabsorción de calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg)

2.3. Excreción renal

La función final del sistema renal es excretar la orina. De esta función se encargan los conductos excretorios como los son los cálices renales, los uréteres, la vejiga y la uretra.

En el cuadro 3 se resume la estructura y la función del sistema renal.

GRamónS.

Cuadro 3. Resumen de las partes de la nefrona y de sus acciones fisiológicas.

<i>Región</i>	<i>Funciones principales</i>	<i>Comentarios</i>
Glomérulo renal: epitelio, lamina basal, podocitos.	Filtración	Barrera de filtración
Túbulo proximal	Reabsorción del 67-80% de agua, sodio y Cl^- ; reabsorción del 100% de proteínas, glucosa y bicarbonato	Bomba de sodio en la membrana basal; el ultrafiltrado es isotónico con la sangre.
Porción descendente del asa de Henle	Impermeable al agua y sales,	El ultrafiltrado es hipertónico con respecto a la sangre; entra urea a la luz del túbulo.
Porción ascendente del asa de Henle.	Impermeable al agua, permeable a sales: sodio y cloro salen del túbulo para entrar el intersticio renal.	El ultrafiltrado es hipertónico con respecto a la sangre; sale urea del intersticio renal y en la luz del túbulo.
Porción gruesa ascendente del asa de Henle	Impermeable al agua; sodio y cloro salen del túbulo para entrar el intersticio renal.	El ultrafiltrado se torna hipotónico con respecto a la sangre; bomba de cloruro en le membrana celular.
Mácula densa	Controla el nivel de sodio y el volumen del ultrafiltrado en el TCD	Entra en contacto y se comunica con las células yuxtaglomerulares.
Células yuxtaglomerulares	Sintetizan y vierten renina al torrente sanguíneo	La renina inicia el ciclo renina-angiotensina.
Tubo contorneado distal	Responde a la aldosterona mediante la resorción de sodio y cloruro a la luz	El filtrado de vuelve mas hipotónico (en presencia de aldosterona); bomba de sodio en la membrana; se secreta potasio en la luz.
Tubo colector	Impermeable al agua y a la urea. En presencia de HAD se reabsorbe agua y urea al intersticio renal.	La orina se torna hipertónica en presencia de HAD.

3. Control de líquidos y electrolitos

Durante la actividad física prolongada e intensa, se pierden líquidos por el sudor y por la respiración. La cantidad de sangre (volemia) en el sistema sanguíneo debe mantenerse constante para de esta manera poder controlar las presiones hidrostáticas de filtrado. Esto se puede lograr de dos maneras:

- la ingesta de líquidos motiva por la sed el es un síntoma de alarma de deshidratación
- Por la disminución de la diuresis, es decir, por disminución de la excreción de orina

El agua que se ingiere llega al estómago y al intestino delgado, donde se absorben hasta 6 a 7 L/día; esta agua pasa luego al sistema circulatorio. Otra parte del agua es absorbida en el colon (llegando a ser alrededor de 1,4L/día), de donde de igual manera pasa al sistema circulatorio. En los atletas de rendimiento (sobre todo en resistencia), esta absorción se ve incrementada de manera que el resultado es una hipervolemia, favorecida también por la mayor absorción de agua a nivel de tubo contorneado distal y colector, como veremos a continuación.

En lo referente a la disminución de la diuresis, el incremento de la hormona antidiurética durante la actividad física hace que se reabsorba mas cantidad de agua en el tubo contorneado distal y colector, agregado a la actividad del sistema renina-angiotensina que incrementa la reabsorción de agua y sodio a nivel del tubo contorneado proximal.

De todas maneras, la disminución de la diuresis varia de un individuo a otro. Es posible que éstas diferencias se deban a la rehidratación durante el esfuerzo, a componentes emocionales, o a las diferencias individuales de funcionamiento.

Durante el ejercicio fuerte y prolongado disminuye la excreción urinaria de algunos electrolitos. Así, el Na^+ y el Cl^- son reabsorbidos con la consiguiente disminución de la excreción. Los posibles mecanismos que explican este fenómeno son:

- La disminución de la tasa de filtración glomerular
- El aumento de la actividad simpática renal con su mecanismo directo de estimulación para la reabsorción de Na^+
- La acción del sistema renina-angiotensina

GRamónS.

La excreción urinaria de K^+ es un debate actual. Mientras unos autores encuentran un aumento de su excreción, otros no observan cambios significativos. Es posible que la hidratación durante el ejercicio y las diferencias individuales explican estos cambios.

Con relación a los fosfatos, unos autores encuentran una disminución de su excreción. Finalmente, algunos autores encuentran que el Ca^{++} puede también estar disminuido tras una carrera de 20 km.

4. Evaluación de la función renal

Para la evaluación de la función renal se ha utilizado el citoquímico de orina que mide las siguientes variables:

- Densidad de la orina (Normalmente: 1.010 – 1.020)
- Presencia de cilindros o cilindruria (normalmente escasos o negativos)
- Presencia de células de la sangre o hematuria (normalmente negativa)
- Presencia de proteínas o proteinuria (normalmente negativa)
- Presencia de bacterias (normalmente negativas)
- Presencia de células renales (normalmente en pequeñas cantidades)
- Presencia de cristales

Cuadro 4. Dos informes de parciales de orina: la muestra #1 antes de la actividad física y la muestra #2, después de la actividad física.

FÍSICO	MUESTRA # 1	MUESTRA # 2
Color	Ambar	Ambar
Aspecto	Claro	Claro
PH	6,0	6,0
Densidad	1020	1020
MICROSCÓPICO		
Leucocitos	0-1 P.C	0-1 P.C
Cel. Epiteliales	0-1 P.C	0-1 P.C
Bacterias	Escasas	Escasas

En ciclistas profesionales, después de una etapa de montaña, se ha observado la presencia de cilindros (derivados de daño de los tubos renales) así como células epiteliales. En corredores de maratón se encuentra frecuentemente la presencia de glóbulos rojos (hematuria), explicados por un aumento de la presión en la vena renal. El ejercicio exhaustivo incrementa la frecuencia de la hematuria.

Los hematíes pueden ser dismórficos (su morfología está distorsionada) cuando proceden del glomérulo renal o eumórficos (cuando proceden de los túbulos o de la parte excretora). También pueden ser de pequeño tamaño (microcíticos) y son de origen glomerular, o pueden ser de mayor tamaño del normal (macrocítico) se acepta que su origen no es glomerular.

La hematuria puede estar asociada a la presencia de hemoglobina en la sangre (hemoglobinuria), la cual está estrechamente relacionada con la destrucción por presión de los glóbulos rojos en las plantas de los pies al hacer contacto con el suelo.

Los cilindros que se encuentran luego de actividades intensas pueden ser:

- Hialinos: cuyo origen es la glucoproteína uromucoide, los cuales son incoloros, semitransparentes y mal definidos. Se asocian a proteinuria
- Granulosos: formados por células epiteliales, leucocitos y albúmina. Presentan un aspecto regular y son bien definidos.

GRamónS.

La presencia de cilindros generalmente es benigna y transitoria, pero se debe siempre estar atento a la presencia de alguna anomalía.

La cilindruria puede deberse a:

- Disminución del pH y urea
- Incremento de la concentración de la albúmina en la orina por lesión de la membrana glomerular
- Daño en los túbulos renales (tubulopatía)

La proteinuria postejercicio está mas relacionada con la intensidad de la actividad física que con su duración. La proteinuria se relaciona con actividades en las cuales se soporta peso como la marcha, el trote y no así, en ciclistas o nadadores. Esta proteinuria es benigna y transitoria.

El origen de la proteinuria puede ser de origen glomerular (en la mayoría de los casos) o de origen mixto glomerular-tubular (por aumento de la permeabilidad glomerular y disminución de la absorción tubular).

5. Actividad física y función renal

5.1. Flujo sanguíneo renal:

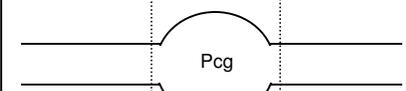
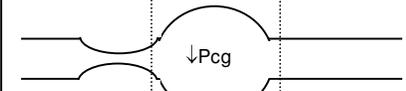
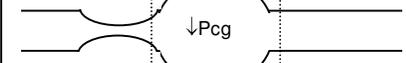
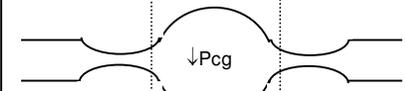
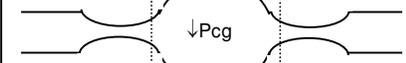
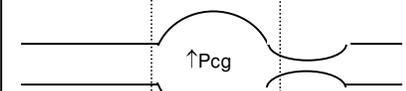
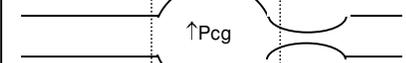
En condiciones normales, la fracción del gasto cardiaco (volumen sistólico x frecuencia cardiaca) que va al riñón es del 20% (gasto renal). Durante actividades físicas de moderada intensidad, el gasto renal se disminuye hasta en un 30%; en actividades muy intensas, se disminuye hasta en un 65%. Esta disminución es transitoria, retornando a niveles normales luego de 30 a 60 minutos luego de terminada la actividad. La tasa de filtración glomerular también disminuye pero no tan marcadamente.

La disminución del gasto renal y del flujo sanguíneo renal se debe fundamentalmente al aumento de la actividad de sistema simpático (incremento de adrenalina y noradrenalina), al aumento de la secreción de renina, de angiotensina II y de hormona antidiurética.

5.2. Filtración glomerular

Durante actividades físicas intensas, aunque el flujo sanguíneo renal está disminuido, la filtración glomerular es afectada en menos proporción. El sistema simpático y la renina-angiotensina ocasionan vasoconstricción de la arteriola eferente lo que incrementa la presión de filtrado en el glomérulo, llevando por consiguiente a un incremento de la tasa de filtración glomerular. La presión hidrostática se incrementa a tal punto que facilita el paso por la membrana glomerular de partículas que normalmente no pasan, como es el caso de la microalbúmina (proteinuria), o de células sanguíneas como los glóbulos rojos.

GRamónS.

Arteriola aferente	Capilar glomerular	Arteriola eferente	Tasa de filtración glomerular	Flujo sanguíneo renal	Fracción de filtración
	P _{cg}		Normal	Normal	Normal
	↓P _{cg}		Muy disminuida	Disminuida	Normal
	↓P _{cg}		Disminuida	Muy disminuida	Incrementada
	↑P _{cg}		Incrementada	Muy disminuida	Muy Incrementada

6. Anormalidades de la función renal.

El riñón puede ser susceptible de enfermedades infecciosas (causadas por virus, bacterias u hongos) entre las cuales se encuentran las uretritis (inflamación de la uretra), la cistitis (inflamación de la vejiga), pielonefritis (inflamación de la pelvis renal y de los túbulos renales) y la glomerulonefritis (inflamación del glomérulo y de los túbulos renales). En todos estos casos, la actividad física no presenta ningún efecto positivo pero si negativo, es decir, dada la actividad inmunosupresora del ejercicio a determinadas intensidades, las infecciones pueden favorecerse y empeorar el pronóstico.

Cuando el compromiso del riñón es generalizado, se produce una Insuficiencia Renal Aguda (IRA), cuadro de mucho cuidado en el ámbito clínico pues se requiere de una unidad de cuidados intensivos, un especialista en el área e intervención con muchos agentes farmacológicos, dependiendo de la gravedad. La evolución de este tipo de trastornos es impredecible. La actividad física es limitada debido a que obliga al riñón a trabajar mas de la cuenta y en esas circunstancias, lo que el riñón requiere es reposo para volver a recuperar sus funciones de filtración y excreción.

En algunos casos, el compromiso del riñón se presenta de manera insidiosa y crónica, produciéndose luego de 15 a 20 años el cuadro conocido como Insuficiencia Renal Crónica, cuyo manejo fundamental es la diálisis renal pues la función de filtración y excreción de líquidos o electrolitos por parte del riñón se ha perdido. En estas personas, la actividad física aeróbica de baja intensidad es recomendada para mantener las funciones de los demás órganos, pues estas personas tienden a permanecer inactivas y deprimidas por su estado, ocasionando una atrofia del sistema muscular, cardiovascular entre los más importantes.

BIBLIOGRAFIA.

GONZÁLEZ, Javier. 1992. Fisiología de la actividad física y del deporte. 1ª ed, Madrid,

GRamónS.

GUYTON, W. 2002. Fisiología Médica.

LÓPEZ, A., y FERNÁNDEZ, A. 2003. Fisiología del ejercicio. 2º edición.

MacDOUGALL, J.D., WENGER, H., GREEN, H.J. 2000. Evaluación Funcional del Deportista. 2 ed. Paidotribo: Barcelona.

WILMORE J., y COSTILL, D. 2004. Fisiología del Ejercicio. 5 ed. Paidotribo: Barcelona.