

# Capítulo 6 PARTE 1/3

## 6.1 EL RIÑÓN: UN SISTEMA DE EPITELIOS QUE SIRVE PARA EXCRETAR AGUA, ELECTROLITOS y ALGUNOS OTROS SOLUTOS

En el Cap. 3 hemos hablado de la ORINA y cómo es que ésta, por su volumen y composición, puede mantener el balance hidrosalino de una persona, aun cuando beba un gran volumen de agua o sude profusamente. No será necesario, entonces, explicar por qué orina un hombre. Lo que haremos ahora es señalar cómo, de qué manera, por qué mecanismos, **se forma la orina**. Recomendamos, sin embargo, que el estudiante relea los siguientes puntos del **Capítulo 3** de este libro:

- Orinas hipertónicas e hipotónicas
- Filtración y reabsorción
- Osmolaridad máxima y volumen mínimo de la orina en el hombre
- Respuesta renal a la:
  - Pérdida por sudor
  - Deshidratación extrema
  - Ingesta de sal
  - Inyección de un diurético
  - Inyección de glucosa al 5%

## 6.2 EL NEFRON COMO UNIDAD FUNCIONAL RENAL

Un hombre tiene, en sus dos riñones, alrededor de 2 millones de NEFRONES y la orina que aparece en la vejiga es la suma de la orina que produce cada uno de estos nefrones. Pero, ¿qué es un nefrón? Básicamente está constituido (Fig. 6.1) por un GLOMERULO y un sistema de tubos epitelios, que suele dividirse en TUBULO PROXIMAL, ASA DE HENLE, TUBULO DISTAL y TUBULO COLECTOR. En el asa de Henle se pueden distinguir, a su vez, tres partes: el SEGMENTO DESCENDENTE, el SEGMENTO ASCENDENTE DELGADO y el SEGMENTO ASCENDENTE GRUESO.

Haciendo un corte de un riñón humano es posible distinguir, por su color, dos zonas: la externa o CORTEZA, de color rojo intenso, y la

INDICE - Parte 1	Pág.
6.1 EL RIÑÓN: UN SISTEMA DE EPITELIOS QUE SIRVE PARA EXCRETAR AGUA, ELECTROLITOS y ALGUNOS OTROS SOLUTOS	1
6.2 EL NEFRON COMO UNIDAD FUNCIONAL RENAL	1
6.3 LA FILTRACION GLOMERULAR O DONDE LAS COSAS COMIENZAN	4
6.4 FLUJO SANGUINEO RENAL, FLUJO PLASMATICO RENAL y FRACCION FILTRADA	8
6.5 FILTRACION GLOMERULAR, OFERTA TUBULAR y REABSORCION	10
6.6. REABSORCION, SECRECION Y LA MEDIDA DE LA FILTRACION GLOMERULAR	11

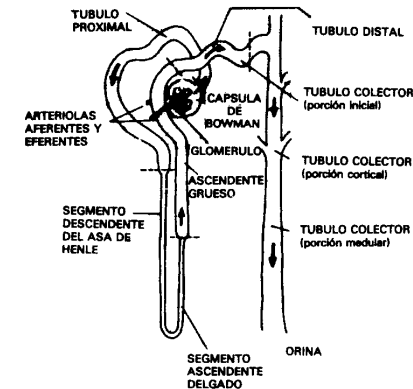


FIG. 6.1 ESQUEMA DEL NEFRON Y SUS DISTINTAS PARTES. LAS LINEAS PUNTEADAS MARCAN LOS LIMITES DE LAS DISTINTAS PARTES.

MEDULA, mucho más clara. Los glomérulos se localizan sólo en la corteza pero, debe destacarse, no son accesibles ni visibles si se mira el riñón por la superficie ya que los primeros micrometros están ocupados sólo por túbulos proximales y distales. En la médula, por su parte, están la mayor parte de los distintos segmentos del asa de Henle y de los colectores.

### - El gradiente córtico-medular.

La diferencia entre corteza y médula, lo superficial y lo profundo, no está dado únicamente por las estructuras de cada porción, sino también por la OSMOLALIDAD del tejido. Supongamos, como muestra a Fig. 6.2, que hacemos, con una navaja, cortes paralelos del riñón, obteniendo rebanadas y que a cada rebanada se le mide la osmolalidad. Se verá que mientras el tejido cortical tiene una osmolalidad igual a la del plasma (290 mOsm/kg de agua), a medida que avanzamos hacia la PAPILA la osmolalidad va aumentando, hasta llegar, en el hombre, a los 1200-1400 mOsm/kg. Esto se conoce con el nombre de GRADIENTE CORTICO-MEDULAR y es, como veremos, una característica del riñón y la base del mecanismo de concentración y dilución de la orina.

La osmolalidad de la corteza está dada, como la del plasma, casi totalmente por el  $\text{Na}^+$  y sus aniones acompañantes. Allí la UREA tiene una concentración de 5 mmol/L (0,30 g/L), de modo que participa poco en la osmolalidad total. En cambio, en la punta de la médula, la osmolalidad está dada, en partes iguales por el sodio y la urea. Eso significa, hablando en términos muy generales, que si en el tejido hay 1200 mOsm/kg, 600 mOsm/kg son debidos a la urea (36 g/L) y 600 mOsm/kg al  $\text{Na}^+$  y sus aniones acompañantes (unos 300 mmol/L de NaCl).

### - Nefrones corticales y yuxtamedulares

Si una persona produce, por ejemplo, 1500 mL de orina al día, se podría considerar que cada nefrón produce  $1500 / 2.10^6 = 0,00075$  mL/día (0,75  $\mu\text{L}$ /día o, aproximadamente, 0,36 nL/min (nanolitros por minuto) de orina. Anatómicamente es posible distinguir 2 tipos extremos diferentes de nefrones (Fig. 6.3):

a) los NEFRONES CORTICALES, con un glomérulo ubicado cerca de superficie y con una asa de Henle corta que sólo llega a la zona externa de la médula renal y

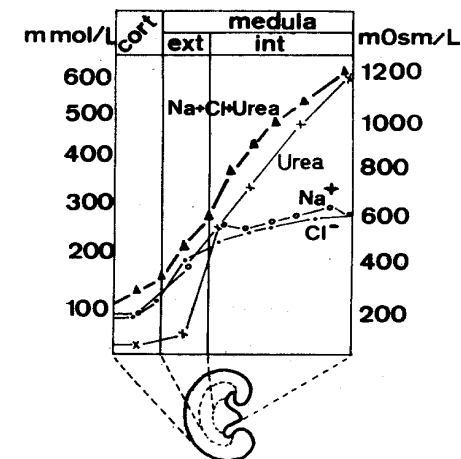


FIG. 6.2 REPRESENTACION DEL GRADIENTE CORTICO-MEDULAR RENAL. EL RIÑÓN NO TIENE UNA ESTRUCTURA HOMOGENEA SINO QUE AUMENTA DE LA CORTEZA A LA PAPILA. (modificado de Ullrich, KJ; Kramer K y Boylan JW. Prog Cardiovas Dis 3: 395, 1961)

b) los NEFRONES YUXTAMEDULARES, que tienen un glomérulo ubicado un poco más profundamente y cuya asa de Henle llega hasta la zona interna de la médula renal. La hipótesis es que los nefrones yuxtamedulares, por su disposición, deberían poder producir orinas más concentradas que los corticales. Sin embargo, las evidencias experimentales no son concluyentes y es preferible hablar simplemente de orina, sin hacer distingos sobre si esta viene de nefrones corticales o yuxtamedulares.

### - El sistema vascular renal

El nefrón, tal como lo acabamos de describir, es la unidad funcional renal. Sin embargo, éste no podría operar de no existir un sistema esencial, muy particular, de provisión de sangre, Este no es de ningún modo, y como veremos, un simple mecanismo "para llevar oxígeno a células".

El sistema vascular renal está formado por una ARTERIA RENAL, rama directa de la aorta, que se divide, dentro del riñón (Fig. 6.4), en ARTERIAS INTERLOBULARES. Estas, al llegar al límite entre la corteza y la médula, se dividen y cambian bruscamente de dirección, dando las ARTERIAS ARCIFORMES. De estas arterias nacen, en ángulo recto, las ARTERIAS INTERLOBULILLARES, de donde nacerán las ARTERIOLAS AFERENTES y los CAPILARES GLOMERULARES. De los glomérulos salen las ARTERIOLAS EFERENTES, que se dividen en dos ramas: una dará los CAPILARES PERITUBULARES que serán los que rodean los túbulos proximales y distales, y otra que estará en contacto con el asa de Henle y los colectores.

Por lo general, en los nefrones corticales los capilares rodean sin orden claro los túbulos proximales, el asa de Henle y los túbulos distales de **su** nefrón. En los nefrones yuxtamedulares, el desorden de los capilares peritubulares no existe a nivel del asa de Henle, ya que están dispuestos formando los llamados VASOS RECTOS. Estos corren paralelos a las ramas ascendentes y descendente del asa. Ya sea corticales o yuxtamedulares, lo habitual es decir que la sangre que irriga, por ejemplo, un túbulo distal de un determinado nefrón, es sangre que pasó por el ovillo glomerular que está en contacto, a través de la CAPSULA DE BOWMAN, con el túbulo proximal de ese mismo nefrón. Sin embargo, hay numerosas excepciones a esta regla y en muchos casos la sangre proveniente de nefrones corticales se mezcla con sangre de los nefrones yuxtamedulares.

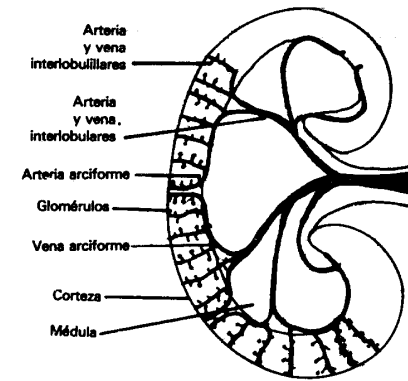


FIG. 6.3 DISPOSICION DE LOS NEFRONES CORTICALES Y YUXTAMEDULARES. NOTESE NO SOLO SU UBICACION ANATOMICA SINO TAMBIEN LA DISPOSICION DE LOS CAPILARES PERITUBULARES. (Reproducido de Pitts RF "Fisiología del riñón y los Líquidos corporales. Ed. Interamericana, México, 3a. ed, 1976)

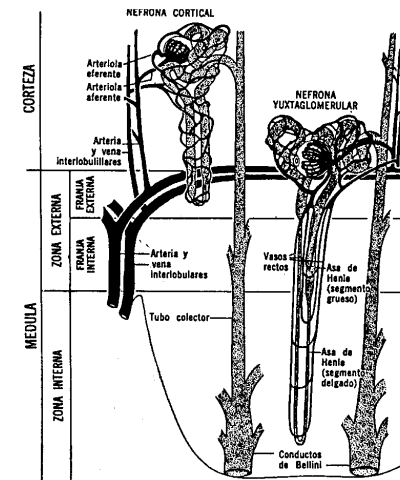


FIG. 6.4 ANATOMIA MACROSCOPICA DE LA CIRCULACION RENAL. (Redibujado de Pitts RF .ob.cit.)

Por esta disposición de túbulos y vasos, es que, en realidad, lo que debería ser tomado como unidad funcional renal, serían el glomérulo y los túbulos, pero también los capilares.

### 6.3 LA FILTRACION GLOMERULAR O DONDE LAS COSAS COMIENZAN

Para alcanzar nuestro objetivo de explicar cómo se forma la orina podemos comenzar diciendo que, a nivel del glomérulo renal, ocurre un proceso de FILTRACION que produce un cierto volumen de líquido que sale de los capilares glomerulares y entra en el sistema tubular. Como ya sabemos, la filtración es un proceso en el que la fuerza impulsora es la presión y donde el factor de restricción al flujo está dado por las propiedades de la membrana.

En la Cap. 2 establecimos la siguiente ecuación:

$$J_v = L_p \cdot A \cdot \Delta P$$

donde  $J_v$  es el flujo de volumen, en mL/min o  $\text{cm}^3/\text{s}$

$A$  es el área de filtración

$\Delta P$  es la diferencia de presión hidrostática

$L_p$  es el coeficiente de conductividad hidráulica.

En el caso del glomérulo renal,  $J_v$  recibe el nombre de FILTRACION GLOMERULAR y es el flujo de volumen que desde la luz de los capilares del ovillo glomerular atraviesa la cápsula de Bowman y entra en el espacio capsular y en la primera porción del túbulo proximal (Fig. 6.5). De la misma manera que se habla de **orina** para hacer mención al volumen producido por TODOS los nefrones, la filtración glomerular, salvo que se aclare lo contrario, se refiere al volumen que, en un cierto tiempo, producen **todos** los glomérulos. En un hombre adulto, la filtración glomerular, que de ahora en adelante señalaremos como **FG**, es de alrededor de 120 mL por minuto o  $2 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Si hacemos el cálculo de la filtración glomerular por cada glomérulo, podremos ver que es de 60 nL/min ó 1 nL/s.

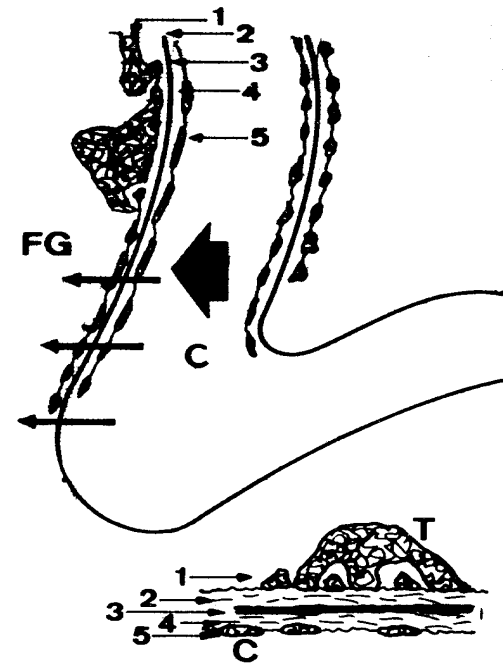


FIG. 6.5 ESQUEMA DEL GLOMERULO CON EL CAPILAR Y EL EPITELIO DE LA CAPSULA DE BOWMAN. ABAJO: REPRESENTACION DE UN CORTE TRANSVERSAL: T: LADO TUBULAR; C: LADO CAPILAR. 1) CELULAS EPITELIALES CON SUS PODOCITOS; 2) CAPA DE CEMENTO; 3) LAMINA BASAL 4) CAPA DE CEMENTO; 5: CELULAS DEL EPITELIO VASCULAR. FG: FILTRACION GLOMERULAR (Modificado de De Paese J. Histochem, 3: 259, 1955)

- Fuerzas que favorecen y fuerzas que se oponen a la FG

La FG aparece gracias a la existencia de una presión hidrostática  $\Delta P$ . Ella es el resultado de la suma algebraica de todas las presiones que, a nivel del glomérulo, favorecen o se oponen a la FG (Fig. 6.6)

a) La sangre que circula por los capilares glomerulares tiene una cierta presión, la PRESION GLOMERULAR ( $P_g$ ) que, por supuesto, favorece la formación del FG.

b) En el plasma hay sustancias, como el agua, la glucosa, el  $Na^+$ , etc., que pasan fácilmente del intravascular al túbulo proximal y, consecuencia, no pueden ejercer una presión osmótica. Otras, en cambio, como las proteínas plasmáticas, no pueden atravesar la pared glomerular, quedan confinadas en el intravascular y crean una diferencia de presión osmótica entre el glomérulo y el túbulo. El resultado es la existencia de una fuerza impulsora, la PRESION OSMOTICA EFECTIVA, ( $\Pi_{ef}$ ) que actúa oponiéndose a la FG.

c) En la cápsula de Bowman y en el túbulo proximal, la presión hidrostática no es cero y por lo tanto hay una presión ( $P_t$ ) que se opone a la FG.

Con todas estas presiones se puede escribir una ecuación que defina la PRESION EFECTIVA DE FILTRACION ( $P_{ef}$ ), la presión que realmente ha de actuar como fuerza impulsora:

$$P_{ef} = P_g - \Pi_{ef} - P_t$$

Los valores generalmente aceptados para estas presiones son: a

$$P_g = 47 \text{ mm Hg}$$

$$\Pi_{ef} = 25 \text{ mm Hg}$$

$$P_t = 10 \text{ mm Hg}$$

En consecuencia, la  $P_{ef}$  será de:

$$P_{ef} = 47 - 25 - 10 = 12 \text{ mm Hg}$$

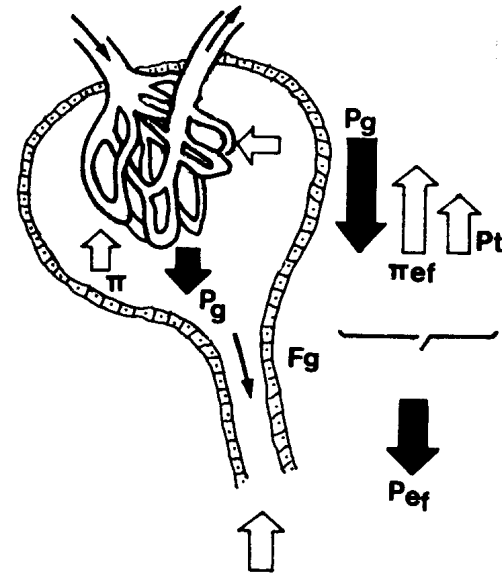


FIG. 6.6 EL VOLUMEN QUE SE FILTRA EN EL GLOMERULO POR MINUTO (FG) DEPENDE DE LA SUMA ALGEBRAICA DE LAS PRESIONES QUE FAVORECEN Y SE OPONEN A LA FG.  $P_g$ : PRESION GLOMERULAR (FAVORECE)  $\pi_{ef}$ : PRESION OSMOTICA EFECTIVA;  $P_t$ : PRESION TUBULAR (SE OPONEN)  $P_{ef}$ : PRESION EFECTIVA DE FILTRACION.

760 mm Hg ..... 1 atm  
 12 mm Hg ..... x = 0,0158 atm

Si queremos calcular, **aunque sea sólo válido como un ejercicio**, el  $L_p$  de esta ecuación, debemos conocer el AREA, en  $\text{cm}^2$ , por donde ocurre la filtración. Esta ha sido estimada en  $30000 \text{ cm}^2$  por lo que:

$$L_p = \frac{J_v}{A \cdot \Delta P} = \frac{2 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{30000 \text{ cm}^2 \cdot 0,0158 \text{ atm}}$$

$$L_p = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$$

Este es un valor perfectamente comparable con los coeficientes de conductividad hidráulica obtenidos en capilares de otros órganos.

- **Origen de las presiones que determinan la presión efectiva glomerular**

**a) Presión glomerular.**

La presión glomerular está vinculada con la presión de la aorta y varía con el momento del ciclo cardiaco. La PRESION MAXIMA o SISTOLICA en la aorta es de unos 120-140 mm Hg. mientras que la PRESION MINIMA o DIASTOLICA es de 80-90 mm Hg y de allí se calcula lo que se conoce como PRESION ARTERIAL MEDIA, que colocaremos, para usar una cifra cómoda, en 100 mm Hg. La presión arterial media indica la presión que, EN PROMEDIO, tiene la sangre durante todo el ciclo cardiaco.

La presión en la VENA RENAL, por su parte, es muy baja y muy parecida a la de la vena cava inferior, que es de unos 5 cm de agua o  $5/13,3 = 0,376 \text{ cm Hg} = 3,76 \text{ mm Hg}$ .

De la arteria renal a la vena renal ha habido, entonces una **caída de presión**, desde 100 mm Hg a 4 mm Hg, y esto es debido a que la sangre es un fluido viscoso y, por lo tanto, el árbol arterial renal le ofrece una RESISTENCIA al flujo (Ver Cap. 9 del Tomo 2). De la misma manera que en un circuito eléctrico (Fig. 6.7) las distintas resistencias hacen caer el potencial, cada uno de los segmentos vasculares renales hace caer la PRESION de acuerdo a la resistencia que ofrezca. Esto se puede ver en la Fig. 6.8, donde está

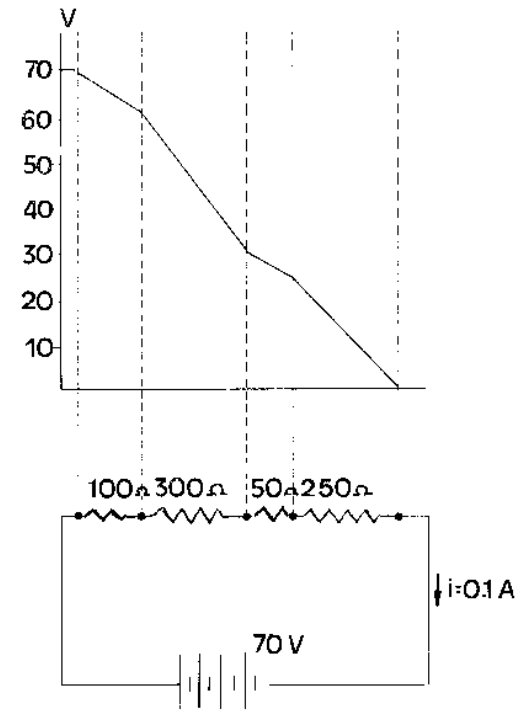


FIG. 6.7 CAIDA DE POTENCIAL A LO LARGO DE LAS RESISTENCIAS DE UN CIRCUITO ELECTRICO.

representada la  $P_g$  de unos 47 mm Hg y donde también se puede ver que ANTES del glómulo hay una zona de alta resistencia: la arteriola aferente.

Es fácil concluir, entonces, que la PRESION GLOMERULAR está en relación con la presión aórtica, pero también con la resistencia que ofrezca la arteriola aferente. Como la resistencia de una arteria está en relación inversa a su radio, se puede afirmar que, a presión aórtica constante, la  $P_g$  depende del radio de la arteria aferente: una dilatación (aumento del radio) acercará la  $P_g$  a la presión aórtica, elevándola por encima de 47 mm Hg y una vasoconstricción (disminución del radio) la hará caer por debajo de ese valor.

**b) Presión osmótica efectiva.** La "efectividad" de una molécula para ejercer una presión osmótica puede ser más correctamente descrita utilizando, como lo hicimos en el Cap. 2, el COEFICIENTE DE REFLEXION  $\sigma$ . Entonces:

$$\Pi_{ef} = R \cdot T \cdot \sigma \cdot \text{osmolaridad}$$

El coeficiente de reflexión depende de la relación entre el radio y la forma de la partícula. y el tipo de poro que deba atravesar. Si revisamos nuevamente la Fig. 2.22 podremos concluir que las moléculas de alto peso molecular que están presentes en el plasma humano, como la albúmina, pasan poco o nada a través de la pared del filtro glomerular hacia el túbulo proximal y, por lo tanto, su  $\sigma$  debe ser cercano a 1. Por el contrario, el agua, la urea, la glucosa pasan libremente a través del filtro glomerular y su  $\sigma$  será cercano a 0.

Si usamos la cifra de 7 g/dl (70 g/L) (Cap. 1) como valor habitual de las PROTEINAS PLASMATICAS y les asignamos un peso molecular promedio de 54000 daltons, podemos calcular que hay una concentración de 1,3 mmol/L. Suponiendo que, para estas partículas la osmolaridad equivale a la molaridad, y que el  $\sigma$  es 1, tendremos:

$$\Pi_{ef} = R \cdot T \cdot \text{Osm}$$

$$\Pi_{ef} = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{Osm}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1} \cdot 310 \text{ °K} \cdot 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ Osm/L}$$

$$\Pi_{ef} = 0,033 \text{ atm} = 25 \text{ mm Hg}$$

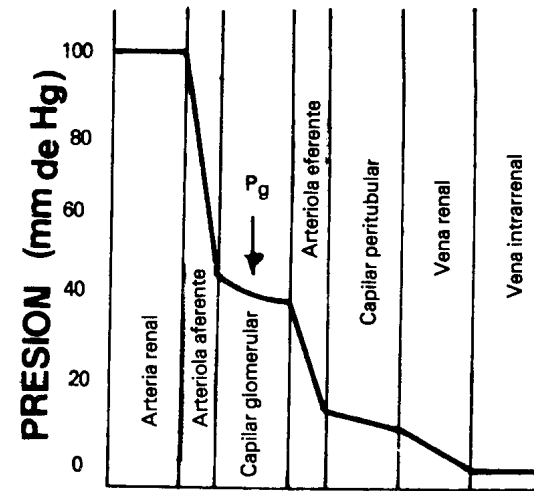


FIG. 6.8 CAIDA DE LA PRESION A LO LARGO DE CADA UNO DE LOS SEGMENTOS DEL ARBOL ARTERIAL RENAL. NOTESE LA ALTA RESISTENCIA DE LA ARTERIOLA AFERENTE ( $P_g$ ; PRESION GLOMERULAR)

c) **Presión hidrostática en la cápsula de Bowman y en el túbulo proximal ( $P_t$ ).** Esta PRESION TUBULAR  $P_t$  resulta de la resistencia que ofrece el túbulo proximal al flujo de volumen que se logra por el proceso de filtración glomerular. Su determinación es experimental y el valor de 10 mm Hg que se dio en los párrafos anteriores es un valor usable, pero hay autores que la encuentran cercana a 0 mientras otros dan valores más altos.

**- Constancia de la FG**

La FG depende, como se vio, de la  $P_{ef}$  que haya en un momento dado en los glomérulos renales. Si la  $P_{ef}$  depende, a su vez, de la presión aórtica, podría pensarse que cualquiera de las elevaciones que a diario experimentamos en la presión arterial sistémica (ejercicio, emoción, etc.), podrían determinar un aumento de la FG. Inversamente, una disminución de presión arterial (calor, sueño, etc.), podría disminuir la FG. Sin embargo, ésta se mantiene bastante constante pese a los cambios en la presión de la arteria renal. Como se puede ver en Fig. 6.9, la FG se mantiene relativamente constante a pesar de que la presión arterial haya pasado de 60 a 180 mm Hg. Este fenómeno es conocido como **AUTORREGULACION DE LA FILTRACION GLOMERULAR**, ya que ocurre también en riñones aislados. Para que esto sea así, los cambios que determinan que la FG sea constante tienen que haber ocurrido en el riñón mismo, sin la intervención de hormonas llegadas de una glándula ubicada fuera del riñón o del sistema nervioso. ¿Qué es lo que **debe** ocurrir para que la FG se mantenga constante, a pesar de que la presión arterial, por ejemplo, suba? Debe aumentar, al mismo tiempo, la RESISTENCIA intrarrenal y, en especial, la de la arteriola aferente. Eso está también mostrado en la Fig. 6.10: en el rango de autorregulación, **la resistencia intrarrenal es una función lineal de la presión en la arteria renal.**

**6.4 FLUJO SANGUINEO RENAL, FLUJO PLASMATICO RENAL y FRACCION FILTRADA**

Si arrancamos de la FG y vamos "para atrás", podremos decir que para que haya una FG tiene que haber presión de filtración o  $P_g$  y que para que haya esta  $P_g$  tiene que, lógicamente, estar pasando sangre por los glomérulos. El **FLUJO SANGUINEO RENAL (FSR)** es el volumen de sangre que, en 1 minuto, pasa por la arteria renal y a

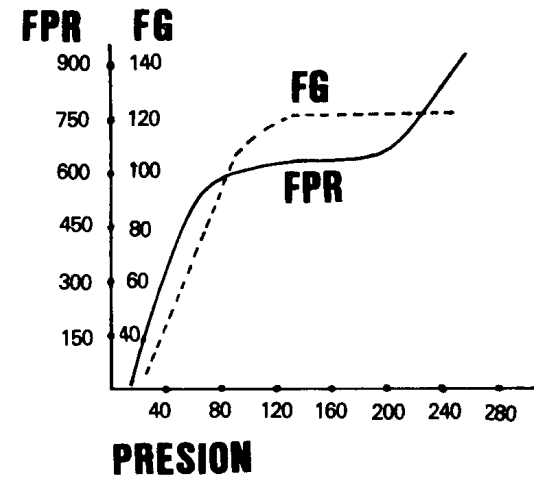


FIG. 6.9 AUTORREGULACION DE LA FILTRACION GLOMERULAR (FG) Y EL FLUJO PLASMATICO RENAL (FPR) . ENTRE 80 Y 180 mm Hg DE PRESION EN LA ARTERIA RENAL, NI LA FG NI EL FPR SE MODIFICAN SIGNIFICATIVAMENTE

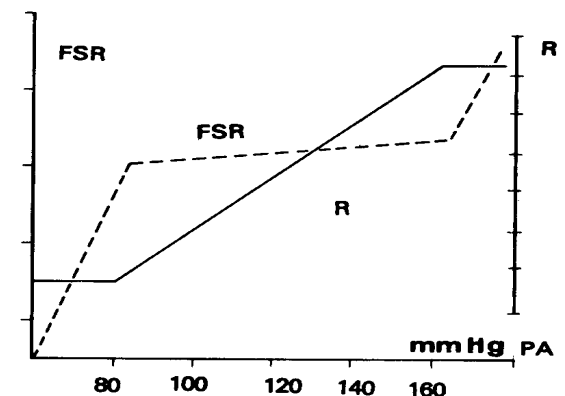


FIG. 6.10 POR DEBAJO DE 80 mm Hg Y POR ENCIMA DE 180 mmHg, LA RESISTENCIA LA RESISTENCIA INTRARRENAL (R) PERMANECE CONSTANTE, POR LO QUE AL AUMENTAR LA PA AUMENTA EL FSR. ENTRE 80 Y 180 mm Hg, AL AUMENTA LA PA AUMENTA R, POR LO QUE EL FSR SE MANTIENE CONSTANTE. menos que se piense que hay una parte de la sangre que no pasa por los glomérulos, ese es el volumen que tiene que estar pasando por los



glomérulos. En un hombre adulto, el FSR es de unos 1200 mL/ min. Si se sabe que el volumen que expulsa el corazón, en un minuto, es de 5 a 6 litros, es fácil calcular que el riñón se "lleva" casi la cuarta parte del volumen circulatorio.

Sin embargo, no todos estos 1200 mL / min están disponibles para filtración: lo que se filtra es, en realidad, el plasma y, de él, el agua y todas las sustancias, salvo las proteínas, que están disueltas allí. Lo que importa para la filtración es, entonces, el FLUJO PLASMÁTICO RENAL (**FPR**), que se puede calcular conociendo el HEMATOCRITO (Ht) (ver Cap. 1). Entonces:

$$\text{FPR} = \text{FSR} \cdot (1 - \text{Ht} / 100)$$

Si, en una determinada persona, se MIDE un FSR de, por ejemplo, 1150 mL/min y el Ht es de 47%, tendremos:

$$\text{FPR} = 1150 \cdot (1 - 0,47) = 609,5 \approx 610 \text{ mL / min}$$

De esos 610 mL/min, un cierto volumen, que en los párrafos anteriores fijamos en 120 mL/min, se irá a los túbulos proximales como FG. Por lo tanto, podemos ahora calcular la FRACCIÓN FILTRADA (**FF**): la relación entre el volumen de plasma que pasa por los glomérulos y el volumen que se filtra. Así,

$$\text{FF} = \frac{\text{FG}}{\text{FPR}}$$

En nuestro ejemplo:

$$\text{FF} = \frac{120 \text{ mL / min}}{610 \text{ mL / min}} = 0,196 \approx 0,20$$

Esto equivale a decir que, aproximadamente, el 20% del plasma que pasa por los glomérulos se filtra (Fig. 6.11) y el 80% sigue, por la arteriola eferente, hacia la vena renal. ¿Quiere decir eso que la vena renal tiene un flujo plasmático que es un 20% menor al de la arteria

renal? No, claro que no. Si se observa con detenimiento la Fig. 6.3, se puede ver que las arteriolas peritubulares y los vasos rectos se unen para desembocar en las venas interlobulillares y de allí a la vena renal. Por lo tanto, al volumen de sangre que viene del glomérulo por las arteriolas aferentes hay que agregarle lo que vienen por estas vías. Estas recogen el volumen que pasa de la luz de los túbulos, ya sean proximales, distales, asa de Henle y colectores, a la sangre. ¿Cuál es, entonces, el volumen que NO hay que sumar? Simplemente aquel que no se haya reabsorbido a nivel tubular y eso es... el VOLUMEN MINUTO DE ORINA (V).

En conclusión, en la vena renal habrá un flujo plasmático igual a:

$$FPR_{\text{vena}} = FPR_{\text{arteria}} - V$$

**¿Cuánto vale V?** Si la persona está orinando unos 1500 mL/día, eso es, para usar una cifra fácil de recordar, alrededor de 1 mL/min, aunque, claro, esta cifra varía dentro de límites muy, pero muy amplios. Con ese valor, el flujo plasmático en la vena sería de 609 mL/min cuando en la arteria es de 610 mL/min. Con los métodos habituales de medición de los flujos sanguíneos, estas cifras no son distinguibles y, por lo tanto, es válido hablar de FSR y FPR tanto para el medido en la arteria, en la vena o indirectamente (depuración de paramino-hipurato, por ejemplo).

En el bebedor de cerveza de 15 litros al día. que mencionamos en el Cap. 3, la cosa puede ser diferente. Con 15 L/día, su V es de 10,4 mL / min y el flujo en la vena renal es claramente menor que en la arteria renal. Aun así, la diferencia es de menos del 2%, lo que refuerza la idea de que el riñón, en cualquier circunstancia, recibe un gran volumen, lo filtra y luego lo reabsorbe en buena parte.

## 6.5 FILTRACION GLOMERULAR, OFERTA TUBULAR y REABSORCION

No hay duda, por todo lo que acabamos de decir, de que el volumen de líquido que entra en la primera porción del túbulo proximal (TP) es lo que se filtró, la FG, que estimamos en 120 mL/min. En la medida en que este líquido es una solución, producto de un filtrado de plasma, sin proteínas, su porcentaje de agua es muy elevado y cometiendo un error mínimo, podemos decir que a los TP se le **ofrecen** 120 mL de **agua** por minuto.

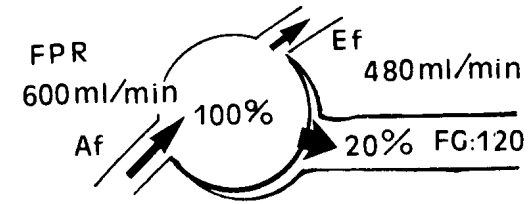


FIG. 6.11 POR LA ARTERIOLA AFERENTE ENTRA, EN UN MINUTO, UN VOLUMEN DE LIQUIDO IGUAL AL FPR. HACIA LOS TUBULOS VE VA UN 20% (FG) DE ESTE VOLUMEN Y EL 80% SIGUE POR LA ARTERIOLA EFDERENTE

### LOS MECANISMOS DE LA AUTORREGULACION DE LA FG Y EL FSR

Decir que la autorregulación de la FG y el FSR se logran porque la resistencia intrarrenal aumenta cuando aumenta la presión en la arteria renal es una descripción pero no una explicación. ¿Qué ha ocurrido dentro del riñón para que la resistencia "siga" a la presión? Una idea es la del **reflejo miogénico**. A nivel de la musculatura lisa de la arteriola aferente: un aumento de la presión la dilata, las fibras se estiran y responden al estiramiento disminuyendo el radio. La inyección de papaverina, un relajante muscular, hace cesar la autorregulación. Otra idea es que el diámetro de las arteriolas aferentes y eferentes cambian de radio en función de una información que les llega desde la rama ascendente de asa de Henle. En la Fig. 6.1 se puede ver que hay una porción del asa que se pone en contacto con su propio glomérulo. Esa zona recibe el nombre de **MACULA DENSA**. Entre la mácula densa y el túbulo hay una células especializadas ricas en **RENINA**, una sustancia que al actuar sobre el **ANGIOTENSINOGENO** (una proteína plasmática) determina la formación de **ANGIOTENSINÁ**, un potente vasoconstrictor. Al conjunto mácula densa y células ricas en renina se lo llama **APARATO YUXTAGLOMERULAR (AYG)**. La propuesta es que la mácula densa recoge una información sobre el contenido del fluido tubular, la pasa a las células ricas en renina, la producción de renina y angiotensina aumenta o disminuye y las arteriolas se contraen o dilatan. Sobre cuál es la información que recoge el AYG, si se puede formar angiotensina *in situ* y si ese es el único mecanismo, no hay todavía acuerdo, pero la teoría es apasionante ya se estaría hablando de un mecanismo de regulación independiente para cada nefrón.

¿Cuánto es, en cambio, la oferta tubular de  $\text{Na}^+$ , por ejemplo? Es la masa de  $\text{Na}^+$  que, en la unidad de tiempo, se filtra y entra a los túbulos. Es un **flujo** y para conocerlo bastará multiplicar la FG por la concentración de  $\text{Na}^+$  que haya en plasma ( $P_{\text{Na}^+}$ ). Como el glomérulo no impone ninguna restricción al paso de  $\text{Na}^+$ , su concentración debe ser la misma en el fluido tubular (FT) que en el plasma (Fig. 6.12)

OFERTA TUBULAR  $\text{Na}^+$  = FG .  $P_{\text{Na}^+}$

Si

FG = 120 mL/min = 0,12 L/min

y

$P_{\text{Na}^+}$  = 140 mEq/L

OFERTA TUBULAR  $\text{Na}^+$  = 0,12 L/min . 140 mEq/L = 16,8 mEq/min

## 6.6. REABSORCION, SECRECION Y LA MEDIDA DE LA FILTRACION GLOMERULAR

Usando el razonamiento del párrafo anterior, podemos ahora, para cualquier sustancia, calcular lo que ENTRA a los túbulos. ¿Cómo sabemos lo que SALE? Simplemente. midiendo la cantidad de la sustancia que aparece, en un periodo determinado, en la orina.

La MASA de  $\text{Na}^+$ , para seguir con el ejemplo de esta sustancia, que aparece, por minuto, en la orina, se la obtiene, en la práctica, recogiendo, durante un tiempo determinado, TODA la orina que el sujeto produzca. Luego, en una muestra de esa orina, medimos la concentración de  $\text{Na}^+$ . Supongamos que la recolección fue de 24 horas (ver Cap. 3) y que obtuvimos los siguientes datos:

VOLUMEN DE ORINA EN 24 HORAS: 1750 mL

CONCENTRACION DE  $\text{Na}^+$  EN ORINA: 103 mEq/L

Con estos datos, calculamos, "**el V**" o volumen de orina en 1 minuto:

$V = \text{Vol. orina de 24 horas} / 1440 = 1750 \text{ mL} / 1440 = 1,22 \text{ mL} / \text{min}$

Ahora, para igualar las unidades, llevamos la concentración de  $\text{Na}^+$  de mEq/L a mEq/mL y lo llamamos "**U**", la concentración por mililitro.

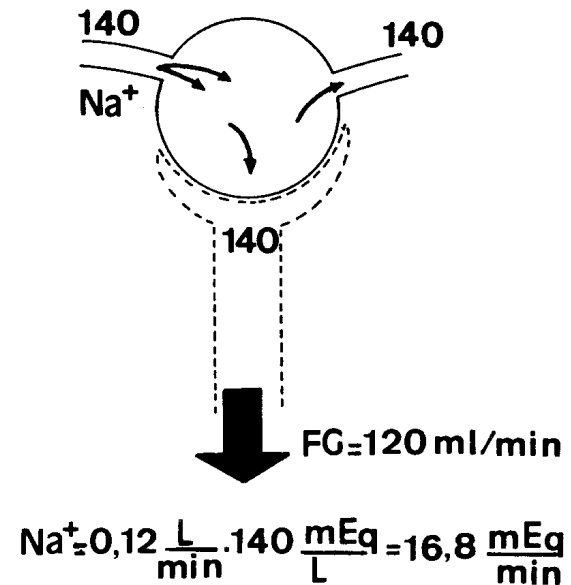


FIG. 6.12 LA OFERTA TUBULAR DE SODIO SE CALCULA CONOCIENDO LA CONCENTRACION DE  $\text{Na}^+$  EN LA SANGRE PERIFERICA Y LA FILTRACION GLOMERULAR. EL PRODUCTO DARA LA MASA DE  $\text{Na}^+$  QUE, EN UN MINUTO, ENTRA AL TUBULO PROXIMAL.

Entonces: (Fig. 6.13)

$$U_{Na^+} = 0,103 \text{ mEq/mL}$$

y como

$$\text{MASA} = \text{CONCENTRACION} \cdot \text{VOLUMEN}$$

$$\text{MASA DE Na}^+ \text{ en orina en 1 minuto} = U_{Na^+} \cdot V =$$

$$= 0,103 \text{ mEq/mL} \cdot 1,22 \text{ mL / min} = 0,125 \text{ mEq/ min}$$

Conociendo el **"U . V de sodio"** podemos imaginar un nefrón representativo de los que pasa en TODOS los nefrones. Lo que entra es la oferta y es, en nuestro ejemplo:

$$\text{Oferta} = \text{FG} \cdot P_{Na^+} = 16,8 \text{ mEq/ min}$$

Lo que sale es:

$$\text{Excreción} = U_{Na^+} \cdot V = 0,125 \text{ mEq/ min}$$

y por lo tanto, ha estado ocurriendo una REABSORCION de:

$$\text{Reabsorción} = \text{Oferta} - \text{Excreción}$$

$$\text{Reabsorción} = 16,8 \text{ mEq/ min} - 0,125 \text{ mEq/min}$$

$$= 16,675 \text{ mEq/min}$$

En términos porcentuales sería:

- Porciento de lo filtrado que se excreta: 0,74 %

- Porciento de los filtrado que se reabsorbe: 99,26%

POR LO TANTO, PARA DEFINIR UNA REABSORCION TUBULAR DE CUALQUIER SUSTANCIA X, BASTARA QUE SE CUMPLA QUE (Fig. 6.14a):

$$\text{FG} \cdot P_X > U_X \cdot V$$

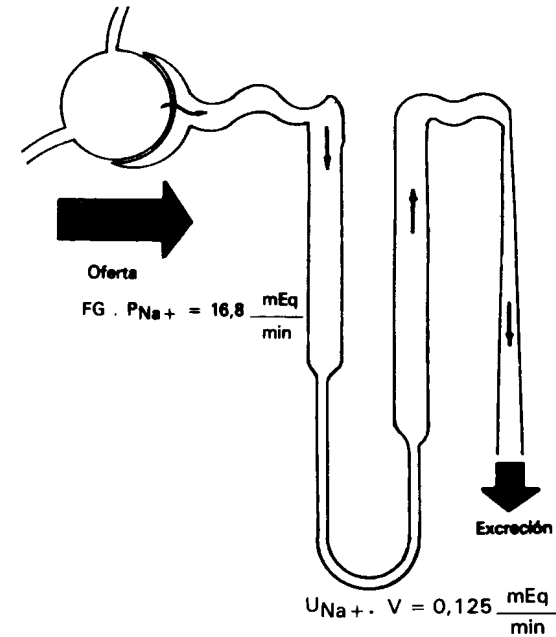


FIG. 6.13 EN BASE A LA MASA FILTRADA POR MINUTO Y A LA MASA EXCRETADA SE PUEDE CALCULAR LA REABSORCION DE UN SOLUTO (SODIO EN ESTE CASO)

Si, para una sustancia en particular, encontramos

$$FG \cdot P_x < U_x \cdot V$$

querrá decir que en la orina aparece MAS sustancia que la que se filtró y, por lo tanto, se **agregó** al fluido tubular cuando éste pasaba por los túbulos y eso es una **SECRECION** (Fig. 6.14b).

Queda, por último, una condición muy especial: que la sustancia ni se esté reabsorbiendo ni se esté secretando: lo que entra... sale (Fig. 6.14c). En ese caso:

$$FG \cdot P_x = U_x \cdot V$$

Hay pocas sustancias que cumplen con esta condición. Las más conocidas son la **INULINA** y la **CREATININA**.

La **inulina** es un azúcar de alto peso molecular (5000 daltons) y no se encuentra presente espontáneamente en sangre. Inyectada por una vena, se distribuye por todo el EC y se excreta, por vía renal, exclusivamente por filtración.

La **creatinina** tiene un peso molecular relativamente bajo, pero el epitelio de los túbulos renales del hombre no tienen sistemas que la transporte. Es un producto natural del metabolismo de las proteínas, en especial musculares, y en el plasma de las personas sanas se la encuentra con una concentración de 0,8 a 1,2 mg/ 100 mL y, claro, se excreta sólo por filtración.

Con estas sustancias podemos **MEDIR** la FG de un determinado individuo. ¿Cómo? Si, para la creatinina (**Cr**), por ejemplo, se cumple que:

$$FG \cdot P_{Cr} = U_{Cr} \cdot V$$

entonces

$$FG = \frac{U_{Cr} \cdot V}{P_{Cr}}$$

La cifra FG de 120 mL/min que hemos usado hasta ahora, proviene simplemente de estos cálculos, que se conocen con el nombre de **DEPURACION** o **CLEARANCE**

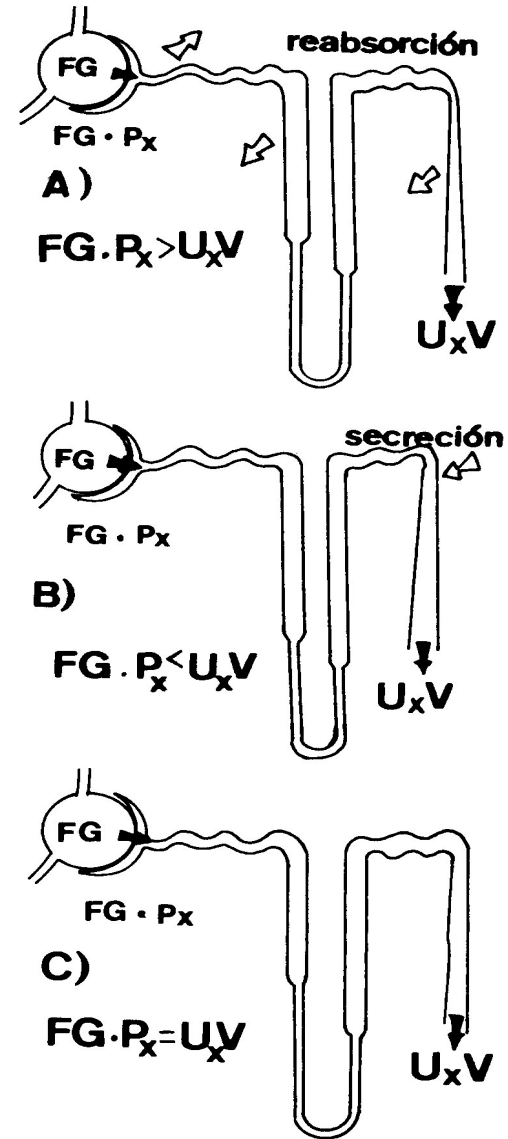


FIG. 6.14 LA RELACION ENTRE LO QUE ENTRA AL TUBULO POROXIMAL Y LO QUE SALE POR LA ORINA PERMITE SEBER SI LA SUSTANCIA SE REABSORBIDO (a) , SI SE ESTA SECRETANDO (b) O SI SALE SIN MODIFICACION (c)

**FIN DE LA PARTE 1 DEL CAP. 6  
CONTINUA PARTE 2**

**Manual de Fisiología y Biofísica  
para Estudiantes de Medicina**

**R. Montoreano – edición  
electrónica 2002**