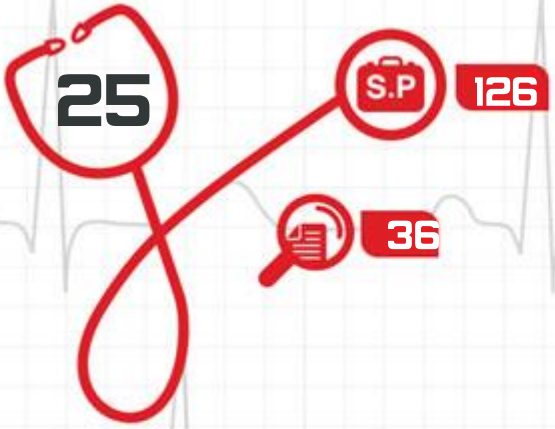


الكلية ووظائفها والرشح الكبي

05 د. عبد الوهاب شهلا

26/04/2019

RB Medicine

Medical Physiology 1 | الفيزيولوجيا الطّبيّة 1

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

نقدم لكم زملاءنا المحاضرة الأولى من فيزيولوجيا الجهاز البولي السوية للدكتور عبد الوهاب شهلا نرجو أن نوفَّق في تقديم كل ما هو مفيد ^_^

الفهرس

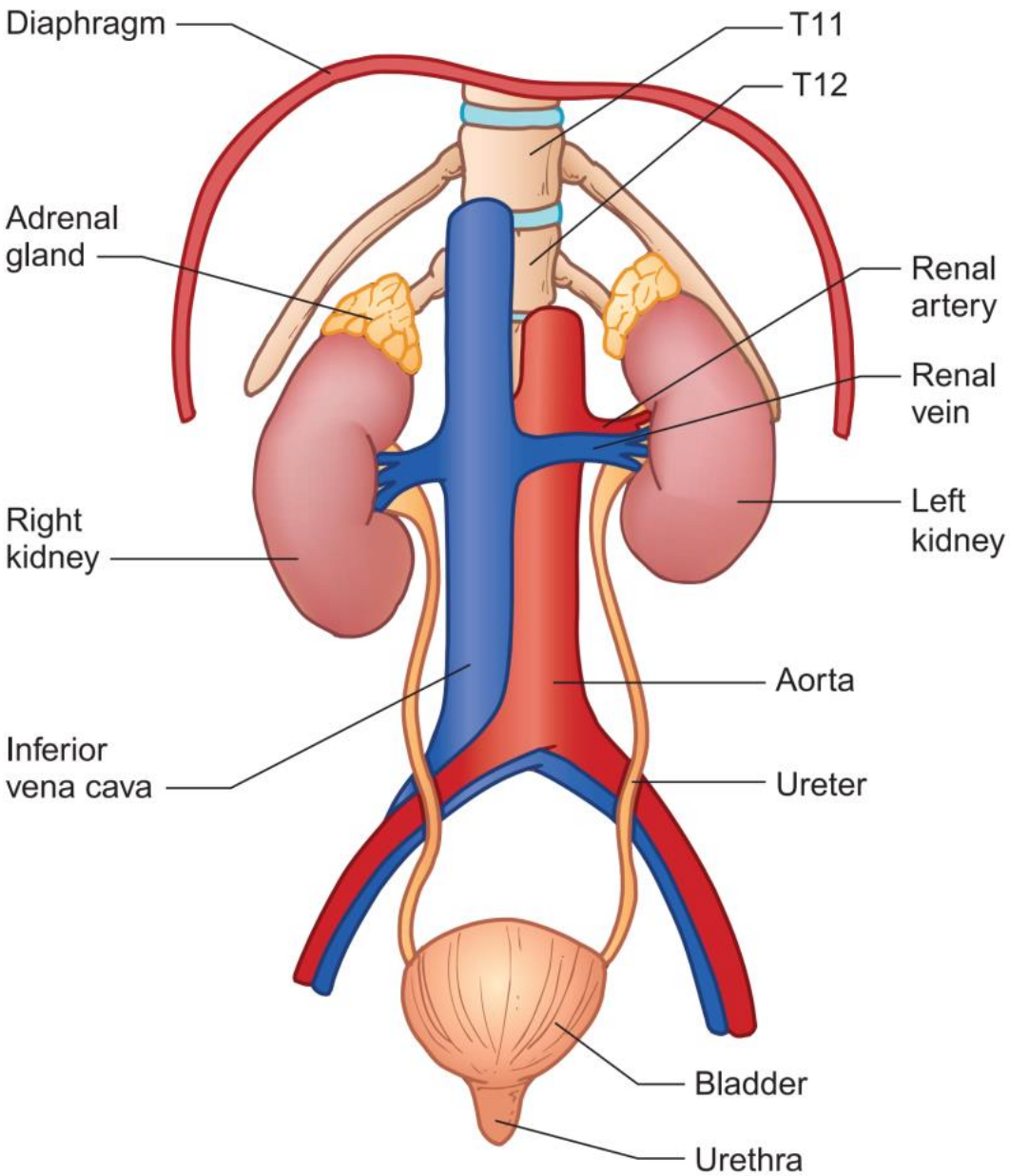
عنوان الفقرة	رقم الصفحة
الجهاز البولي	2
الكليتان	3
النفرونات	7
معاملة الكلية لأربع مواد افتراضية	13
الرشح الكبي	19
معدل الرشح الكبي	21
عوامل مؤثرة على معدل الرشح الكبي	25
التحكم الفيزيولوجي بمعدل الرشح الكبي	27
التنظيم الذاتي لمعدل الرشح الكبي	28
Overview ^_^	34

alkamal
29120325

مقدمة

يتكون الجهاز البولي من:

1. **الكليتين** Kidneys.
2. **الحالبين** Ureters: **يخرج من كل كلية حالب يحمل البول إلى المثانة.**
3. **المثانة** Bladder.
4. **الإحليل** Urethra.



شكل ترسيمي يوضح أقسام الجهاز البولي

سنركّز في دراستنا على الكليتَين بشكل رئيسي، إذ إنّ بقية أجزاء الجهاز البولي تعمل على خدمة أو إتمام وظيفة الكليتَين.

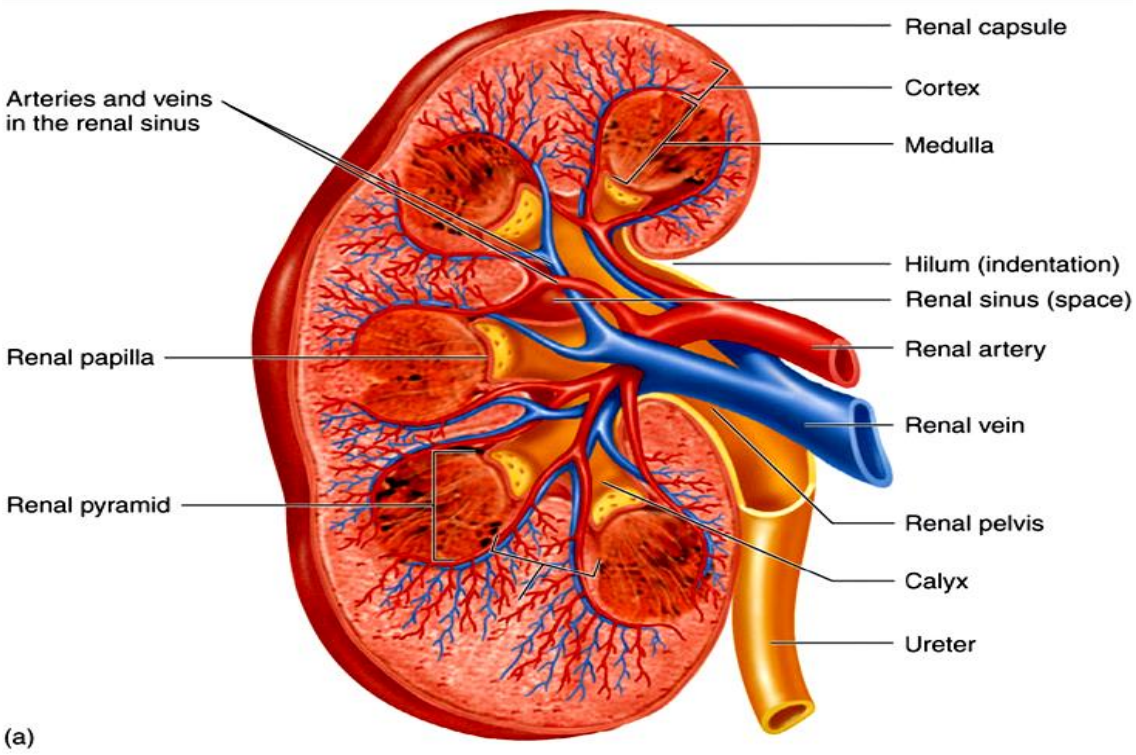
الكليتان Kidneys

التشريح الوظيفي للكليتَين

- **الموقع:** تتوضع الكليتان في الجدار الخلفي للبطن خلف البريتوان.
- **الوزن:** تزن الكلية 150 غرام، ويعادل حجمها حجم قبضة اليد المغلقة.
- **الكلية تشريحياً:** في مقطع طولي للكلية يمكن أن نرى أنها تتكون من منطقتين:
  1. منطقة خارجية تدعى القشر Cortex.
  2. منطقة داخلية تدعى اللب Medulla.

- يوجد في وسط الكلية ثلمة تدعى **سرة الكلية Hilum** تدخل وتخرج من خلالها الشرايين والأوردة والأوعية اللمفاوية والأعصاب الكلوية، كما يخرج منها الحالب الذي يحمل البول من الكلية إلى المثانة[1].

- **الكلية وظيفياً:** تتألف الكلية من وحدات بنائية **وظيفية** تدعى الأنابيب الكلوية (أو النفرونات).



مقطع طولي في الكلية

[1] يهمنا أنه يدخل إليها الشريان الكلوي ويخرج منها الوريد الكلوي والحالب.

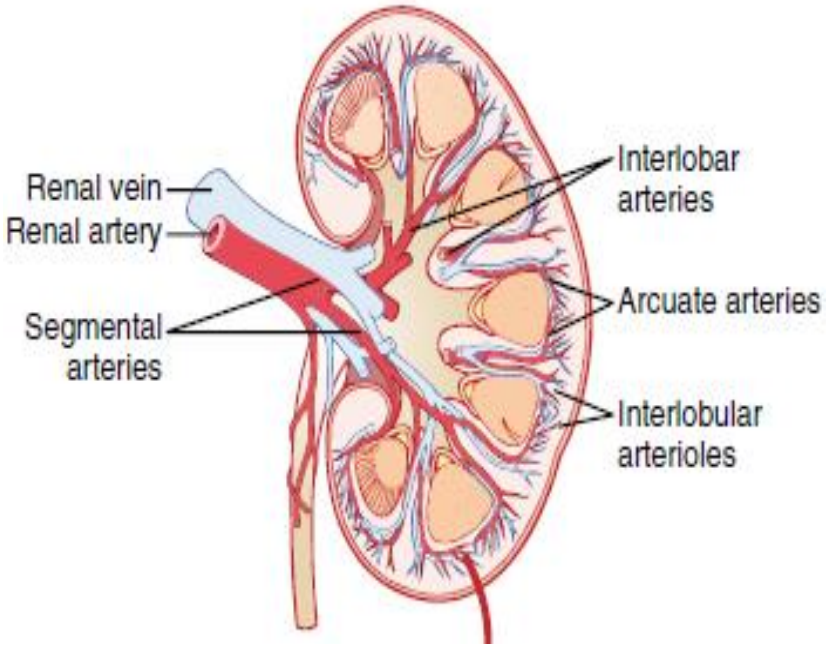
التروية الدموية للكلية

❖ تتلقى الكلية 22% من نتاج القلب في الدقيقة الواحدة.

❖ وعلى اعتبار الكلية تشكل 0.4% فقط من وزن الجسم، بالتالي نجد أنّ هذه التروية الدموية هي تروية وظيفية وليست تغذوية، (أي أنّ هذه التروية تصلها لأداء وظيفة معينة).

❖ عندما يكون نتاج القلب طبيعي (أي حوالي 5 لتر) فتكون التروية الدموية للكلية حوالي يدخل الشريان الكلوي Renal Artery من خلال السرة ويتفرع بشكل متدرج ليشكل:

الشرايين بين الفصوص Interlobar Arteries ← الشرايين المقوسة Arcuate Arteries ← الشرايين بين الفصيصات Interlobular Arteries ← الشرينات Afferent الواردة Arterioles



❖ تتجمع النهايات البعيدة لشعريات الكبيبات لتشكل الشُّرين الصادر Efferent Arterioles الذي يقود إلى نوع ثاني من الشعريات الدموية وهي شبكة الشعريات الدموية حول الأنابيب Peritubular Capillaries التي تحيط بالأنبوب الكلوي.

❖ يتمتع الدوران الكلوي بخاصية فريدة في كونه يحوي نوعين من الأوعية الدموية:

- الأوعية الدموية الكبية.
- الأوعية الدموية حول الأنابيب.

❖ يكوّن هذان النوعان سلسلة تنفصل عن بعضها بواسطة الشُّرينات الصادرة التي تساعد في تنظيم الضغط المائي السكوني في كلا السريرين الشعريين[2].

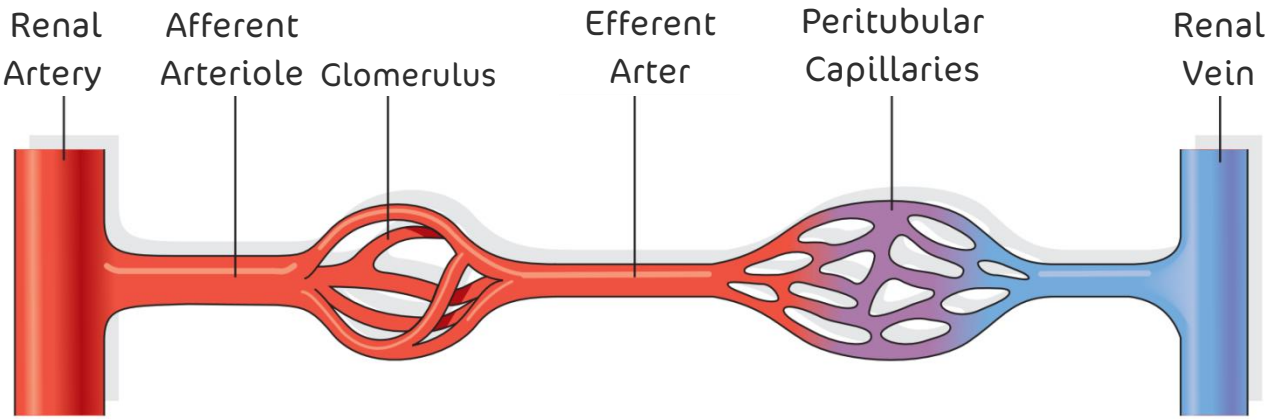
[2] انظر الصورة في الصفحة التالية.

الضغط المائي السكوني في الأوعية الكلوية[3]:

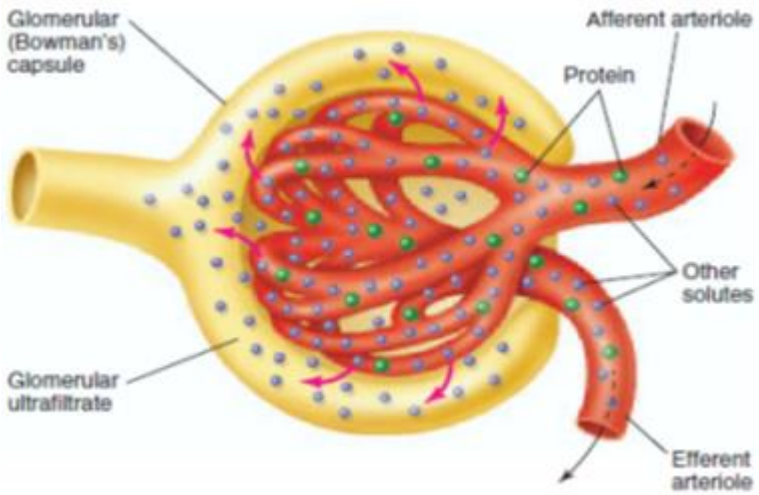
❖ يبلغ الضغط المائي السكوني في السرير الوعائي الكبّي نحو **60 مم زئبقي**، وهو ضغط عالي نسبياً مما يسبب رشحاً سريعاً للسوائل من الدم باتجاه محفظة بومان.

❖ بينما يبلغ الضغط المائي السكوني في الأوعية الدموية حول الأنابيب نحو **13 مم زئبقي**، هذا الضغط المنخفض يسمح بإعادة امتصاص السوائل.

❖ تستطيع الكليتين تنظيم الضغط المائي السكوني في كلا النوعين من الأوعية الدموية.



صورة ترسيمية توضّح مسار الدم في الكلية بدءاً من الشّريان الكلوي – شُرين وارد – سرير شعري كبّي – شُرين صادر – سرير شعري حول الأنابيب – الوريد الكلوي.



صورة ترسيمية للكبة الكلوية، لاحظ محفظة بومان التي ترشح إليها السوائل

[3] قيم الضغط المائي السكوني للحفظ.

وظائف الكليتَين

1. تخليص الجسم من الفضلات:

سواءً القادمة من الخارج أو الناتجة عن عمليات الاستقلاب.

2. التحكم بحجم وتركيب سوائل الجسم:

أي التحكم بكمية الماء والشوارد الموجودة داخل الجسم.

تُعَدُّ هاتان الوظيفتان أهم وظائف الكلية.

3. تنظيم أوزمولية الجسم:

الحفاظ على قيمة ثابتة لأوزمولية البلازما والتي تعادل **300 ميلي أوزمول** وهو الوسط المناسب لعمل وأداء الكريات الحمر لوظائفها.

4. تنظيم pH الدم:

أي التحكم بكمية **شوارد الهيدروجين** في الجسم.

يتم التحكم بكمية شوارد الهيدروجين في الجسم عن طريق ثلاث آليات ، هي:

- الدوارئ Buffers:
عبارة عن مواد موجودة في الدم تستطيع الاتحاد مع شوارد الهيدروجين أو البيكربونات وتمنعها من تغيير قيمة pH الدم، وتعد الأسرع في تنظيم pH الدم.
- الكليتَان Kidneys:
وهي الأقوى في عملية تنظيم pH الدم خاصةً عندما يكون هنالك تغير في شوارد الجسم بشكل كبير، لكنها الأبطأ.
- الجهاز التنفسي Respiratory System:
يأخذ الوسطية من حيث السرعة والقوة في تنظيم pH الدم مقارنة مع الدوارئ والكليتين، ويقوم بذلك من خلال التحكم بإطراح ثاني أوكسيد الكربون CO_2.

5. تنظيم الضغط الدموي:

عن طريق تنظيم كمية الماء والشوارد في الجسم وإفراز بعض الهرمونات المعدلة للضغط الدموي.

6. إفراز بعض الهرمونات:

مثل: الرينين، الإريثروبيوتين[4]، البراديكنين، وبعض البروستاغلاندينات.

7. تساهم في استحداث السكر *Gluconeogenesis*:

- خاصة أثناء الصيام المديد حيث يتم تصنيع الغلوكوز من **الحموض الأمينية** التي يعاد امتصاصها في الكلية وبعض المشتقات الأخرى.
- تكون كمية الغلوكوز المصنعة في الكلية بعد صيام طويل **معادلة** تقريباً للكمية المصنعة في الكبد.

Nephrons النفرونات

❖ النفرون (أو الكليون) هو **الوحدة الوظيفية للكلية** وهو يُشكِّل وحدة وظيفية **مستقلة**، حيث يستطيع كل نفرون تشكيل البول لوحده.

❖ تحوي الكليتان حوالي 2 مليون نفرون (تحوي كل كلية نحو مليون نفرون).

❖ لا تستطيع الكلية تشكيل نفرونات جديدة (أي أنَّ أي نفرون يتخرَّب لا يُعوَّض).

❖ بشكل عام، يتناقص عدد النفرونات العاملة **بعد سن الأربعين** بمعدل 1% **سنويّاً**، وقد تبدأ قبل الأربعين عند البعض.

❖ حيث يتخرّب 20 ألف نفرون سنويّاً بعد سن الأربعين بشكل طبيعي حتى **دون وجود حالة مرضية**.

❖ يعني ذلك أن معظم الناس في عمر الثمانين يملكون عدد نفرونات عاملة أقل بحوالي 40% من عدد النفرونات العاملة لدى الذين أعمارهم 40 سنة.

❖ لا يكون هذا النقص مهدداً للحياة حيث أنّه بعد تخرّب جزء من النفرونات، تحصل **تغيرات تأقلمية** في النفرونات الباقية (أي تزداد قدرتها الوظيفية) كنوع من التعويض الفيزيولوجي.

[4] أي تقوم الكلية بتنظيم إنتاج الكريات الحمر حيث أنَّ الأريثروبويتين الذي تنتجه الكلية هو العامل المحرِّض لإنتاج الكريات الحمر .

❖ لا تحدث مشكلة وظيفية حتى يصل النقص في عدد النفرونات إلى حوالي 70%.

استنتاج مما سبق: العمر الأعظمي للإنسان تبعاً لكليته 140سنة (إذ أنّه بعد مرور 100 عام على بلوغ الإنسان سن الـ40 يكون معدل تخرب نفروناته 100%).

أجزاء النفرون[5]

1. الكبّة الكلوية Glomerulus:

- يؤدي الضغط الدموي في الكبة إلى رشح السائل إلى محفظة بومان ثم ينتقل السائل الراشح إلى النبيب الكلوي.
- يصل الدم إلى الكبة عبر الشُّرين الوارد Afferent Arteriole ويغادرها عبر الشُّرين الصادر Efferent Arteriole.
- الكبة الكلوية عبارة عن شبكة من الشعيرات الدموية المتفاغرة فيما بينها[6].
- تحاط هذه الشعيرات بمجملها بمحفظة بومان Glomerular (Bowman's) capsule.

2. النبيب Tubule (الأنبوب البولي):

- هو أنبوب طويل تتحول فيه السوائل الراشحة من الكبة الكلوية إلى بول وذلك أثناء سير هذا السائل باتجاه الحويضة الكلوية.
- يتألف الأنبوب الكلوي من الأقسام التالية:

1- الأنبوب القريب Proximal Tubule:

يتوضع في القشر الكلوي وهو يتلقّى السائل مباشرة من محفظة بومان.

2- عروة هانلة Loop of Henle:

تقسم كل عروة إلى ذراع نازل وذراع صاعد.

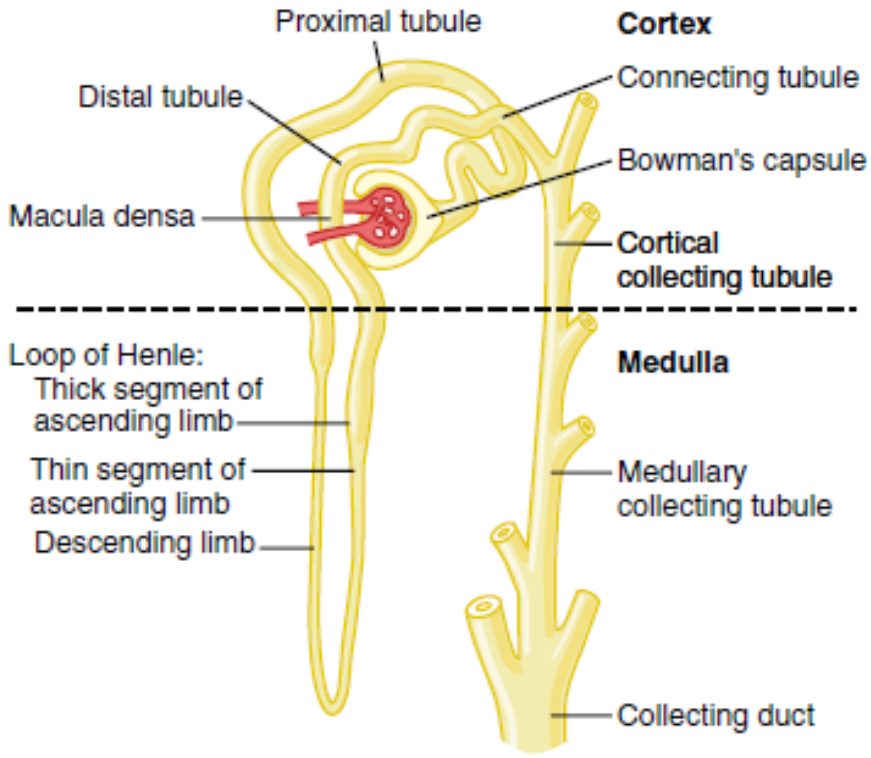
[5] شرحها الدكتور بسرعة لكن يفضل قراءتها للفهم.

[6] أرشيف: قد يصل عدد التفرعات فيها إلى 50 تفرع.

لعروة هانلة شدفة ثخينة وأخرى دقيقة:

☺ **الشدفة الدقيقة Thin Segment**: تشمل معظم الذراع النازل والجزء السفلي من الذراع الصاعد، حيث يكون الجدار رقيقاً جداً.

☺ **الشدفة الثخينة Thick Segment**: تشمل الجزء العلوي من الذراع النازل والجزء العلوي من الذراع الصاعد.



صورة توضح أقسام النفرون.

3- الأنبوب البعيد Distal Tubule:

يتوضع في القشر الكلوي، يليه النبيب الواصل Connecting Tubule **ويتتابع ليشكّل الأنبوب الجامع القشري** Cortical Collecting Tubule **الذي يصب في النهاية بالقناة الجامعة القشرية** Cortical collecting duct.

4- القناة الجامعة Collecting Duct:

تتشكّل من اتصال 8-10 قنوات جامعة قشرية، وتتابع مسيرها إلى اللب الكلوي وتنتهي بالحويضة[7].

[7] يختلف تسلسل وتسمية الأنابيب السابقة بين المراجع وتم اعتماد هذه التسمية من مرجع غايتون..

أنواع النفرونات

نفرونات قشرية
Cortical Nephrons

- توجد معظم أجزائها في قشر الكلية وجزء صغير جداً من عروة هانلة يوجد في اللب (في الجزء السطحي من اللب).
- تشكّل 85% من النفرونات عند الإنسان.

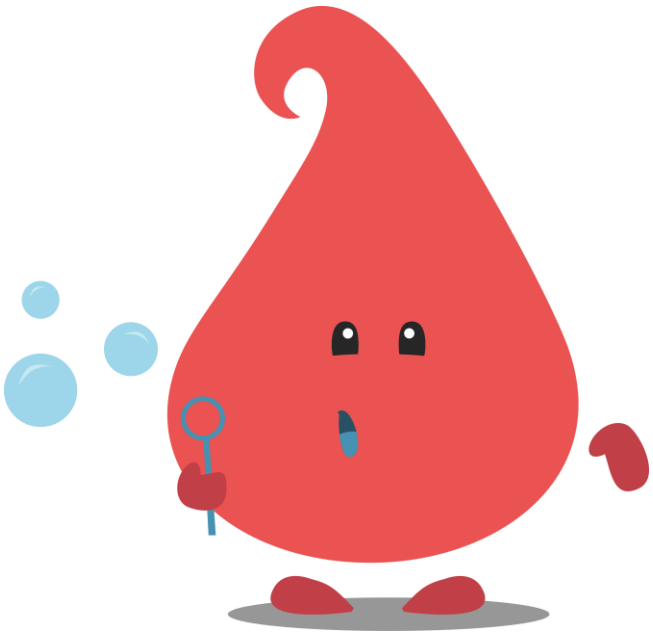
النفرونات المجاورة للب
Paramedullary Nephrons

- تغوص فيها عروة هانلة وملحقاتها عميقاً في اللب لتصل إلى أعمق مكان فيه.
- تشكّل 15% من النفرونات عند الإنسان.

وبالتالي فإنّ الفارق بين نوعي النفرونات يتمثّل حقيقةً في **توضُّع عروة هانلة**.

ما فائدة غوص عرى هانلة في اللب الكلوي؟

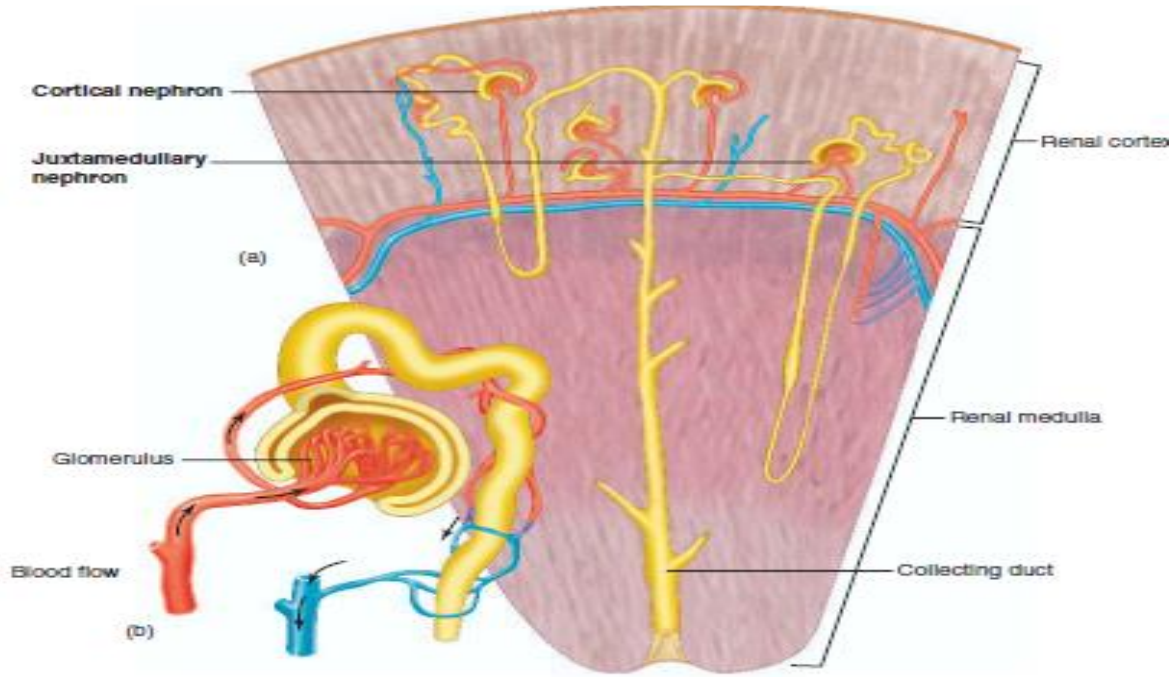
- لوجود منطقة في لب الكلية يصل فيها الضغط التناضحي إلى 1200 ميلي أوزمول وبالتالي يصبح قادراً على سحب الماء (إعادة امتصاصه إلى الشعريات حول الأنابيب) بشكل كبير جداً، حيثُ ينتقل الماء من الوسط منخفض الضغط التناضحي إلى الوسط مرتفع الضغط[8]، وبالتالي يكون لهذا النوع من النفرونات قدرة على تكثيف البول (جعله مركَّزاً أكثر).



[8] سنتناول هذه الفكرة لاحقاً بتفصيلٍ أكبر.

تعمل النفرونات القشرية على إنتاج بول ممدد بكمية كبيرة من الماء، بينما تنتج النفرونات المجاورة للب بول مركَّز، ولذلك تختلف نسبة هذه النفرونات باختلاف الكائن الحي:

- ❖ **في الكائنات البحرية**: تغلب النفرونات القشرية، لعدم حاجة هذه الكائنات للاحتفاظ بكميات كبيرة من الماء في أجسامها.
- ❖ أما **في الكائنات الصحراوية**: تغلب النفرونات المجاورة للب، وذلك بسبب حاجتها للاحتفاظ بأكبر قدر من المياه.



صورة توضح الكبة الكلوية والجملة الوعائية حول النبيبات وكذلك توضح الفرق بين النفرونات القشرية والمجاورة للب

النظرية الأساسية حول وظيفة النفرون

- ❖ يشكل النفرون كما ذكرنا وحدة وظيفية مستقلة، إذ يستطيع كل نفرون تشكيل البول بمفرده، ولذلك يكفي الحديث في معظم الأحيان عن وظيفة النفرون بمفرده بدلاً من التحدث عن وظيفة الكلية بمجملها.
- ❖ إنّ الوظيفة الرئيسية للنفرون هي تنظيف (تصفية) **المصورة الدموية** من المواد غير المرغوب بها وذلك أثناء عبورها الكلية.

- يستطيع الإنسان أن يقوم بمهام الكليتين بنصف كلية سليمة فقط.

❖ من أهم المواد التي يجب التخلص منها[9]:

- **نواتج الاستقلاب** النهائية كاليوريا والكرياتينين وحمض البول والبولات (اليوريا).
- المواد التي تميل إلى التراكم في الجسم بكميات كبيرة **كشوارد** الصوديوم والبوتاسيوم والهيدروجين والكلور.

الآليات الرئيسية التي يقوم من خلالها النفرون بتصفية المصورة من المواد غير المرغوبة هي:

1- آلية الرشح Filtration:

يرشح نحو **خُمس المصورة الدموية** بكافة مكوناتها ما عدا **البروتينات** من الغشاء الكبي إلى الجهاز النبيبي للنفرون وذلك أثناء عبورها الكبيبات وهي **عملية منفعلة** ولا تحتاج إلى صرف طاقة.

2- آلية عود الامتصاص Reabsorption:

يعاد امتصاص **99٪ من الرشاحة** أثناء عبورها من الكبيبات إلى الأنبوب الكلوي حيث تنتقل هذه المواد (وخاصة الماء والشوارد المهمة) من الأنابيب الكلوية إلى المصورة الموجودة في الشعيرات حول الأنابيب بينما تبقى المواد غير المرغوبة في الأنابيب لتطرح مع البول وهي **عملية فاعلة** وتحتاج إلى صرف طاقة.

3- آلية الإفراز Secretion:

يتمّ بهذه الآلية إفراز بعض المواد **مباشرةً** من المصورة الموجودة في شبكة الشعريات حول الأنابيب إلى الأنابيب، وهي **عملية فاعلة** وتحتاج إلى صرف طاقة.

وهكذا نجد أنَّ البول يتركب من قسمين: **مواد مرتشحة** و **مواد مفرَزة**.

9 من الأرشيف.

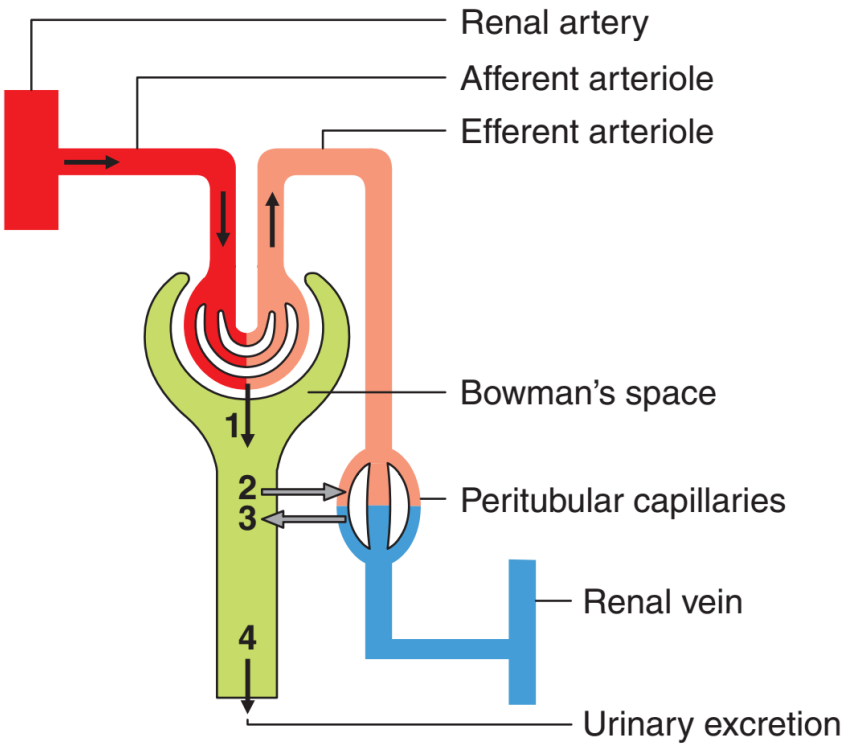
تشكيل البول Micturition

إنَّ نسبة إفراغ Excretion المواد المختلفة في البول تُمثِّل مجموع العمليات الكلوية الثلاث:

- الرشح الكبي.
- عود الامتصاص من الأنبوب الكلوي.
- الإفراز إلى الأنبوب الكلوي.

يُعبَّر عن الإفراغ البولي رياضياً بالمعادلة التالية:

معدل الإفراغ البولي = معدل الرشح - معدل عود الامتصاص + معدل الإفراز



صورة ترسيمية توضّح العمليات الأربع:

1- الرشح Filtration.

2- إعادة الامتصاص Reabsorption.

3- الإفراز Secretion.

4- الإفراغ Excretion.

معاملة الكلية لأربع مواد افتراضية[10]

❖ تتلقى الكلية 1100 مل[11] من الدم في الدقيقة (في حال كان نتاج القلب طبيعياً أي 5 لتر).

❖ وبما أنّ الدم يحوي عناصر خلوية بنسبة 45% وبلازما بنسبة 55٪ فإنّ حجم العناصر الخلوية التي تصل إلى الكبب الكلوية هي 450 مل وكمية البلازما التي تصلها هي 650 مل.

[10] فقرة هامّة امتحانياً.

[11] ميلي لتر.

❖ إنّ العناصر الخلوية الدموية **لا تُرشَح**[12]، والذي يُرشَح هو **خُمس** المصورة الدموية أي **125 مل في الدقيقة** (انتبه..خُمس المصورة الدموية وليس خُمس حجم الدم كله).

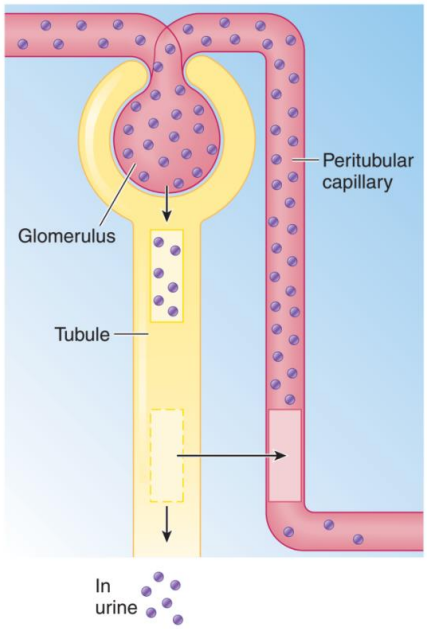
❖ يُعاد امتصاص 99% من هذه الكمية المرتشحة كل دقيقة (وهذا يعادل 124 مل من هذه الـ 125مل) إلى شبكة الأوعية حول الأنبوب.

❖ وبالتالي يبقى لدينا **1 مل** بلازما رُشحت ولم يُعاد امتصاصها.

طرق تخلص الكلية من الفضلات

يوجد حصراً أربع آليات مختلفة للتعامل مع المواد المرتشحة:

1- طريقة الرشح بِحُريّة Filtration Only:



☜ تكون المادة موجودة في البلازما وترشح مثلها مثل البلازما، ولكن **لا يُعاد امتصاص** هذه المادة و **لا تُفرَز** وإنما يطرأ عليها رشح فقط.

☜ بالتالي في هذه الحالة يكون:
(**معدل الإفراغ = معدل الرشح**).

☜ مثال: من المواد التي يطرأ عليها رشح فقط دون عود امتصاص أو إفراز: **الكرياتينين**[13].

▪ مثال آخر هو الإينولين، فهو يعبّر بدقة أكبر عن الرشح الكبي حيث إنه يرشح ولا يعاد امتصاصه ولا يفرز، ولكن سريريا يُستعاض عنها بفحوص الكرياتينين في الدم

[12] لأن لها حجم معين وشحنة معينة تمنعها من العبور فإذا تواجدت في البول يكون هنالك خلل.

[13] الكرياتينين مادة ناتجة عن استقلاب فوسفات الكرياتين في العضلات، تنتقل إلى البلازما لتُطرح إذا كانت موجودة بتركيز معيّن.

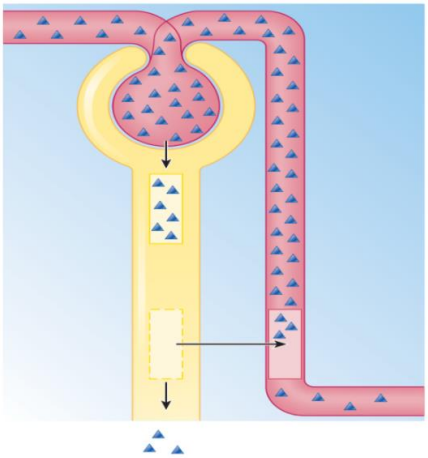
توضيح من الأرشيف:

- لنفترض أنَّ عيار الكرياتينين هو 1ملغ في كل 1مل بلازما.
- فيكون عيار الكرياتينين في الـ125مل بلازما التي رشحت 125ملغ.
- وعلى اعتبار أنه ليطرأ عليه عود امتصاص فكميته تبقى كما هي، أي 125ملغ لكن هذه المرة في 1مل لتر رشاحة أي 1 مل بول (على اعتبار أنه من أصل 125مل بلازما التي رشحت أُعيدَ امتصاص 124مل منها ويبقى 1 مل).
- الخلاصة نستنتج أنّ:

✓ المادة التي **يرتفع تركيزها** في 1 مل لتر بول بحيث يصبح **125 ضعف ما كان عليه** في البلازما[14]، هي مادة طرأ عليها رشح فقط.

✓ عندما يتم رشح مادة في البول بتركيز **125 ملغ في الدقيقة الواحدة** (أي 125 ملغ في 1 مل من البول) فهي مادة طرأ عليها رشح فقط.

2- رشح المادة بحرية مع عود امتصاص جزئي Filtration, Partial Absorption:



- يكون معدل إفراغ المادة **أقل** من معدل رشحها.
- مثال: شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم.
- توضيح:

✓ في هذه الحالة يتم الاعتماد على كمية المادة في الجسم.

✓ فإذا افترضنا أنَّ كمية الصوديوم في الجسم في حالات معينة قليلة جداً أو شبه معدومة يطرأ على المادة عود امتصاص **كلي** لتعويض النقص.

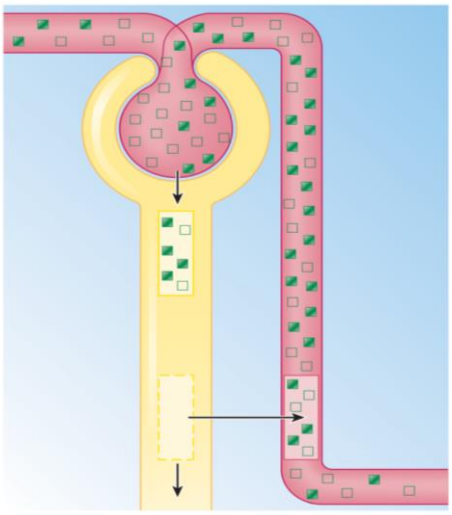
✓ وفي حال كان هناك فائض في كمية الصوديوم في الجسم يطرأ على شوارد الصوديوم **رشح فقط** للتخلص من الفائض.

✓ نستنتج: عندما يتم رشح مادة في البول بتركيز بين 0 و 125 ملغ[15] في الدقيقة (بفرض تركيزها في البلازما 1 ملغ لكل 1مل) فهي مادة طرأ عليها رشح وعود امتصاص جزئي.

[14] نلاحظ أنّ تركيزها في 1 مل لتر بلازما هو 1 ملغ وتركيزها في 1 مل بول هو 125 ملغ.

[15] أكبر من 0 وأقل من 125 ملغ.

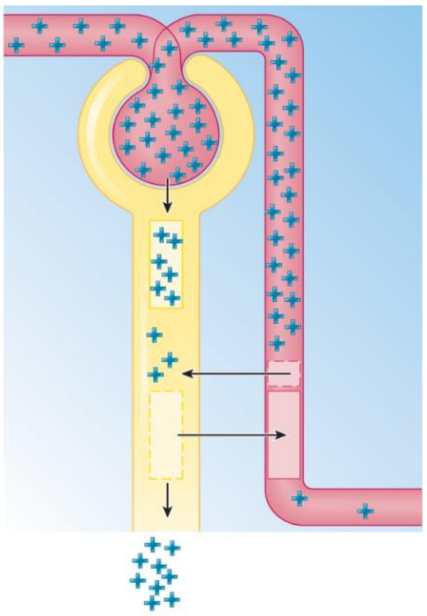
3- رشح المادة بحرية مع عود امتصاص كلي Filtration, Complete Reabsorption:



- في هذه الحالة **لا تُفرغ** المادة في البول نهائياً حيث يُعاد امتصاصها بالكامل إلى الدم.
- مثال: **الحموض الأمينية والغلوكوز**.
- نستنتج:

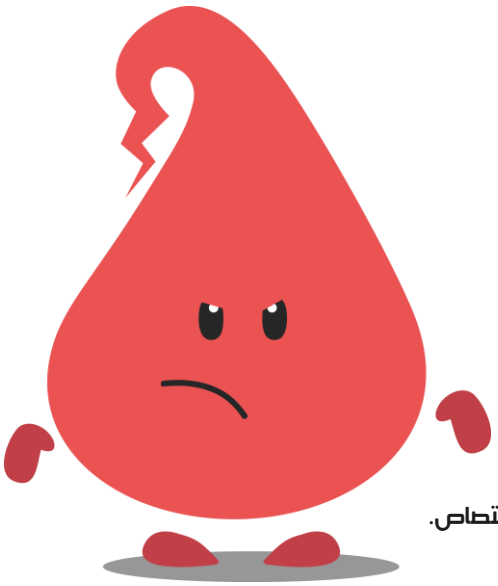
عندما يكون معدل إفراغ مادة معيّنة مساوياً للصفر، أي عندما يكون **تركيزها في البول يساوي الصفر** فهي مادة طرأ عليها عود امتصاص كلي.

4- رشح المادة بحرية بالإضافة لإفراز كمية منها Filtration, Secretion:



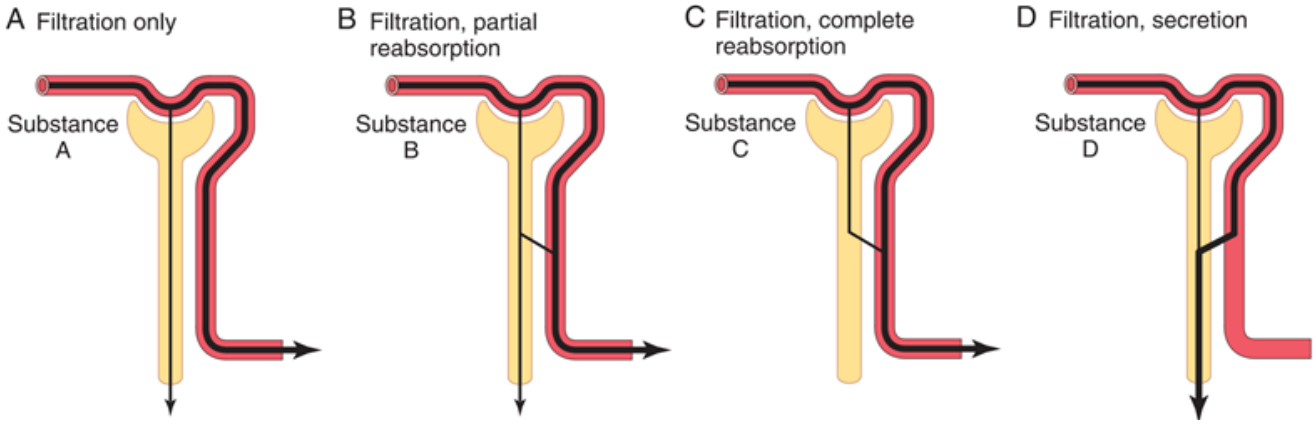
- في هذه الحالة **لا يُعاد امتصاص** أي جزء من المادة التي رشحت.
- وإنما بالإضافة لذلك يجري إفراز كمية منها من الأوعية الدموية حول الأنابيب إلى الأنابيب الكلوية.
- مثال: **الأدوية[16] والمواد السامة**.
- نستنتج:

عندما يتم رشح مادة في البول بتركيز **أكثر من 125 ملغ** في الدقيقة (بفرض تركيزها في البلازما 1 ملغ لكل 1مل) فهي مادة طرأ عليها رشح بحريّة وإفراز.



[16] ذُكر في مرجع غايتون أن بعض الأدوية قد يطرأ عليها عود امتصاص.

الآلية	الرشح	إعادة الامتصاص	الإفراز	مقارنة معدل الإفراغ مع معدل الرشح	تركيزها في البول	أمثلة
طريقة الرشح بِحُريّة	ترشح مثلها مثل البلازما	لا يحدث	لا يحدث	معدل الرشح يساوي معدل الإفراغ	125 ملغ/د	الكرياتينين
رشح المادة بحرية مع عود امتصاص جزئي	ترشح مثلها مثل البلازما	يعتمد على كمية المادة في الجسم، فإما يعاد امتصاصها كليا أو لا تمتص أبدا	لا يحدث	معدل الإفراغ أقل من معدل الرشح	بين 0 و125 ملغ/د	شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم
رشح المادة بحرية مع عود امتصاص كلي	ترشح مثلها مثل البلازما	إعادة امتصاص كلي	لا يحدث	لا يوجد إفراغ بولي من المادة	0 ملغ/د	الحموض الأمينية والغلوكوز
رشح المادة بحرية بالإضافة لإفراز كمية منها	ترشح مثلها مثل البلازما	لا يحدث أبداً	يتم إفراز كمية منها	معدل الإفراغ أكبر من معدل الرشح	أكبر من 125 ملغ/د	الأدوية والمواد السامة



معاملة الكلية للمواد بأربع طرق

الرشح وعود الامتصاص والإفراز لمختلف المواد

- ✓ عود الامتصاص أكثر أهمية من الإفراز في تشكيل البول.
- ✓ يلعب الإفراز دوراً هاماً في تحديد كمية المواد التي تفرغ مع البول.
- ✓ يعاد امتصاص كميات قليلة لعدد من المواد، خاصة المنتجات النهائية للاستقلاب (بولة، حمض البول، الكرياتينين[17]).

ملاحظات هامة:

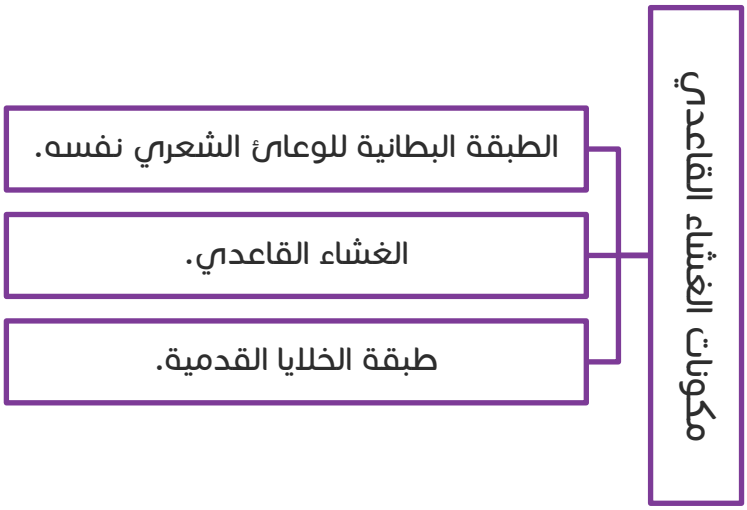
- ❖ يتم معايرة تركيز الكرياتينين أو البولة **في الدم** غالباً للتأكد من سلامة الكلية.
- ❖ يعطي عيار الكرياتينين في الدم فكرة أفضل عن وضع الكلية مقارنةً مع البولة، على اعتباره **يخضع لرشح فقط دون إعادة امتصاص** (ذكر الدكتور أنّ عيار الكرياتينين من أدق الفحوصات لمعرفة سلامة الكلية ولكن فقط في حال ارتفاعه كما سيُذكر).
- ❖ أحد أهمّ وظائف معايرة الكرياتينين هي معرفة سلامة الكلية.
- ❖ إذا كان عيار الكرياتينين في الدم **مرتفع**: نستنتج **وجود قصور كلوي** وخلل في عملية الرشح الكبي.
- ❖ بالمقابل إذا كان عيار الكرياتينين في الدم ضمن **حدوده السوية**: ليس من الضروري أن تكون الكلى سليمة إذ يمكن لكلية مخرّبة أن تقوم بمهامها إلى حدٍّ ما (أي تستطيع رشح الكرياتينين وإبقاء تركيزه طبيعياً في الدم) وذلك لأنه كما ذكرنا فإنّ **نصف كلية سليمة فقط** تستطيع القيام بالعمل، لذلك نلجأ لفحوصات أخرى إضافةً إلى الكرياتينين للتأكد من وجود قصور كلوي من عدمه.

[17] له عود امتصاص لكن بكميات قليلة جداً جداً بحيث يمكن إهمالها ويدرس وفقاً لحالة رشح فقط (دون إفراز أو عودة امتصاص).

الرّشح الكبّي Glomerular Filtration

❖ يرشح الدم عبر غشاء الشعريات الكبّية في الكبّة الكلوية، ويدعى السائل الرَّاشح من الكبيبات إلى محفظة بومان بالرُّشاحة الكبية.

❖ يسمى غشاء الشعيرات الكبية **بالغشاء الكبي**، ويتميز باحتوائه على ثلاث طبقات:



❖ ولكن رغم هذا العدد من الطبقات فإنَّ **نفوذية الغشاء الكبّي عالية جداً** وذلك يعود لبنيته الخاصة:

1- توجد آلاف الثقوب في الخلايا البطانية الشعرية تدعى هذه الثقوب **بالنوافذ Fenestrations**.
2- يحتوي الغشاء القاعدي على فراغات واسعة يرشح السائل من خلالها.
3- توجد مسافات بين الخلايا الظهارية[18].

❖ هذا يعني أن الرُّشاحة الكبيّة تمر عبر ثلاث طبقات مختلفة قبل خروجها إلى المسافة البولية.

❖ وعلى الرغم من هذه النفوذية الهائلة للغشاء الكبي، فهو يمتلك أيضاً قدرة عالية جداً على **انتقاء** حجوم الجزيئات التي يسمح لها بالعبور.

أسباب قدرة الغشاء على الانتقاء:

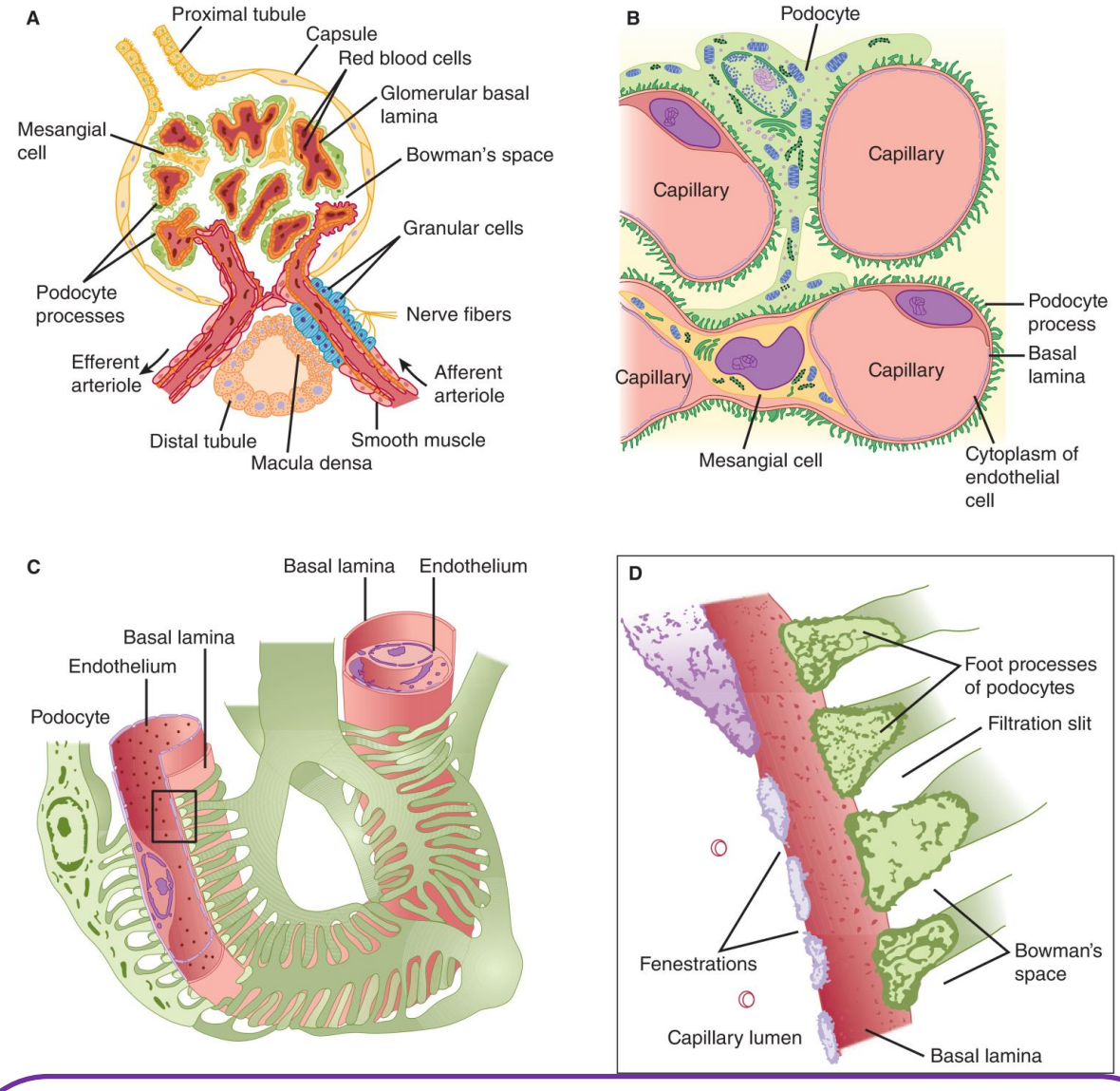
يوجد سببان رئيسان لقدرة الانتقاء العالية التي يتمتع بها الغشاء الكبي:

☝ **حجم المسام** الموجودة في الغشاء، مما يسمح بعبور الجزيئات التي لايزيد حجمها عن قطر المسام (8 نانو متر تقريباً).

[18] أو الخلايا الرّجلاء -القدميّة- Podocytes والتي تُحيط أقدامها بالغشاء القاعدي ويكون بين أقدامها مسافات لمرور الرّشاحة إلى الفراغ البولي.

✌ إنَّ أجزاء الغشاء القاعدي في المسام الكبيّة مغطاة بطبقة من السكريات البروتينية التي تحمل شحنة كهربائية سلبية قوية جداً والتي تسبب التنافر مع البروتينات والمركبات سالبة الشحنة مهما كان حجمها كالألبومين.

عندما يتأذى النفرون يمكن أن يُعاد ترميمه إذا كان الغشاء القاعدي سليماً.



صورة ترسيمية توضّح ما يلي:

A- بنية الكبّة الكلوية.

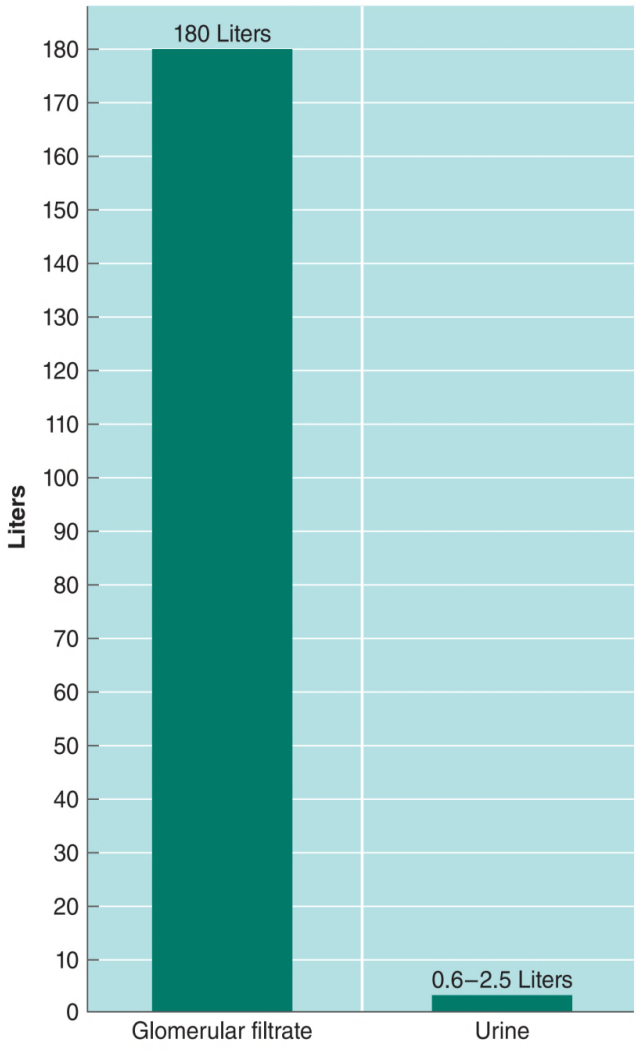
B- الشعريّات الدموية الكبية.

C- بنية الغشاء الكبّي (غشاء الرَّشح).

D- بنية الغشاء الكبي -بتكبير أقوى- حيث نلاحظ طبقات الغشاء الكبي: طبقة الخلايا البطانية ونلاحظ فيها الثقوب التي تدعى النوافذ، تستند البطانة إلى غشاء قاعدي الذي تستره خلايا ظهارية تحتوي فيما بينها مسافات الخلايا القدمية).

معدَّل الرّشح الكبّي The Glomerular Filtration Rate (GFR)

- ✓ **تعريفه:** هو كمية الرشاحة الكبية المرتشَحة **في كل دقيقة** في **جميع النفرونات وفي كلا الكليتين**، وهي تساوي تقريباً **125 مل/د** عند الشخص السوي.
- ✓ وهكذا نجد أن كمية الرشاحة الكبية المُرتشَحة في اليوم تعادل **180 لتراً تقريباً**.
- ✓ يعاد امتصاص أكثر من 99٪ من هذه الرشاحة عند الأشخاص الأسوياء ويُطرَح الباقي مع البول.
- ✓ ترشح المصورة الدموية عبر جدار الأوعية الكبيّة بكافة مكوناتها ما عدا البروتينات.
- ✓ إنَّ تركيز المواد في الجزء الرَّاشح من البلازما **مشابه** لتركيزها في البلازما نفسها باستثناء بعض المواد (كالكالسيوم والحموض الدسمة) لأنها تكون مرتبطة جزئياً بالبروتينات[19].
- ✓ إنّ عملية الرشح الكبي هي عملية منفعلة **لا تحتاج صرف طاقة** وإنّما يحرّكها الضغط المائي السكوني.



كمية السوائل المرتشحة (على اليسار)
كمية البول المتشكلة (على اليمين)

[19] أرشيف

ولكن، لماذا يتم رشح كميات كبيرة من الذوائب ثم يعاد امتصاصها؟

هذا السؤال هام جداً، حيث نصرف على إعادة امتصاص بعض الذوائب طاقة، فلماذا تحدث هذه العملية؟

إنَّ الحكمة من ذلك تكمن في الميزتين التاليتين:

↙ **الميزة الاولى:**

- يسمح للكليتين بإزالة سريعة للفضلات من الجسم.

↙ **الميزة الثانية:**

- يسمح المستوى العالي للرشح الكبي لسوائل الجسم أن تُرشَح وتُعَامَل من قبل الكلية عدة مرات كل يوم.
- ولأن كمية البلازما في الجسم **3 لتر** بينما كمية الرشح الكبي حوالي 180 ل/يوم فإنّ البلازما تُرشَح بكاملها وتُعَامَل يومياً **60 مرة**، مما يسمح للكليتين أن تتحكم بشكل سريع ودقيق بحجم وتركيب سوائل الجسم.
- إذاً الإجابة هي أنّ: **الرَّشح غير نوعي ولا يمكن أن يكون نوعي** حيث إنّ قيام الكلية برشح جميع المواد ثمّ إعادة امتصاص ما يحتاجه الجسم فقط أسهل من أن يتم انتقاء كل شاردة على حدة.

آلية الرشح عبر الغشاء الكبي

يتحدَّد معدَّل الرّشح الكبّي كما في بقيّة الأوعية **بعاملين:**

1- **ضغط الرشح الصافي Net Filtration Pressure:**

يتحدد بالتوازن بين قوى الضغط المائي السكوني والضغط الغرواني.

2- **معامل الرَّشح K_f:**

وهو معدَّل الرشح الكبّي في **كلا** الكليتين لكل ملم زئبقي من الضغط الرشحي وهو محصلة جداء عاملين هما:

- نفوذية الغشاء (له علاقة بعدد وحجم الثقوب بالإضافة لعدد طبقات الغشاء وسماكته).
- مساحة سطح الغشاء (له علاقة بعدد النفرونات[20]).

[20] في حال نقص عدد النفرونات ينقص معدل الرشح الكبي، ولكن تحدث لدى النفرونات تغيرات تكيّفيّة حيث يزداد معدل الرشح فيها، و في حال عدم حدوث حالة تكيف نصبح أمام حالة قصور كلوي.

GFR (Glomerular Filtration Rate)= K_f × Net Filtration Pressure

معدَّل الرّشح الكبّي= معامل الرَّشح × ضغط الرَّشح الصافي

قوى الضّغط التي تؤثّر على الرَّشح

1- الضّغط داخل الشّعريّات الكبيّة Glomerular Hydrostatic Pressure:

- ✓ وهو الضّغط المائي السّكوني الكبّي القادم من الضّغط الشّرياني في الشريان الأبهر (القادم بدوره من البطين الأيسر)[21].
- ✓ **يساعد على الرّشح** ويبلغ عند الإنسان حوالي **60 ملم زئبقي**.

2-الضّغط داخل محفظة بومان Bowman's Capsule Pressure:

- ✓ **يعاكس الرّشح** ويبلغ **18 ملم زئبقي**.
- ✓ يزداد في الأمراض التي تسبب انسداد الحالب (مثل الحصيات)[22].

3-الضّغط التّناضحي الغرواني لبروتينات المصورة (البلازما) Glomerular Colloid Osmotic Pressure:

- ✓ بما أنّ بروتينات المصوّرة لا تستطيع النفوذ عبر الغشاء الكبّي لذلك فهي تملك قوة جذب للماء، أي أنّها تولّد ضغطاً يعرف بالضّغط التناضحي الغرواني لبروتينات البلازما.
- ✓ **يعاكس الرّشح** ويبلغ بشكل وسطي **32 ملم زئبقي**.

يختلف الضغط بين بداية الوعاء الدموي ونهايته حيث ترشح السوائل إلى خارج الوعاء فتؤدي إلى:

- تناقص الضغط المائي السكوني كنتيجة لسحب الماء.
- ازدياد الضغط الغرواني (بسبب تزايد تركيز البروتينات مع سحب الماء).

يحدث في أمراض الكبد نقص في إنتاج بروتينات البلازما فيقل الضغط التناضحي الغرواني وبالتالي يزيد معدل الرشح الكبي.

[21] يتأثر الضغط داخل الكبة الكلوية بالضغط الناتج من البطين، فيزداد بزيادته والعكس صحيح.

[22] أرشيف: ويصل لحوالي 30 ملم زئبقي.

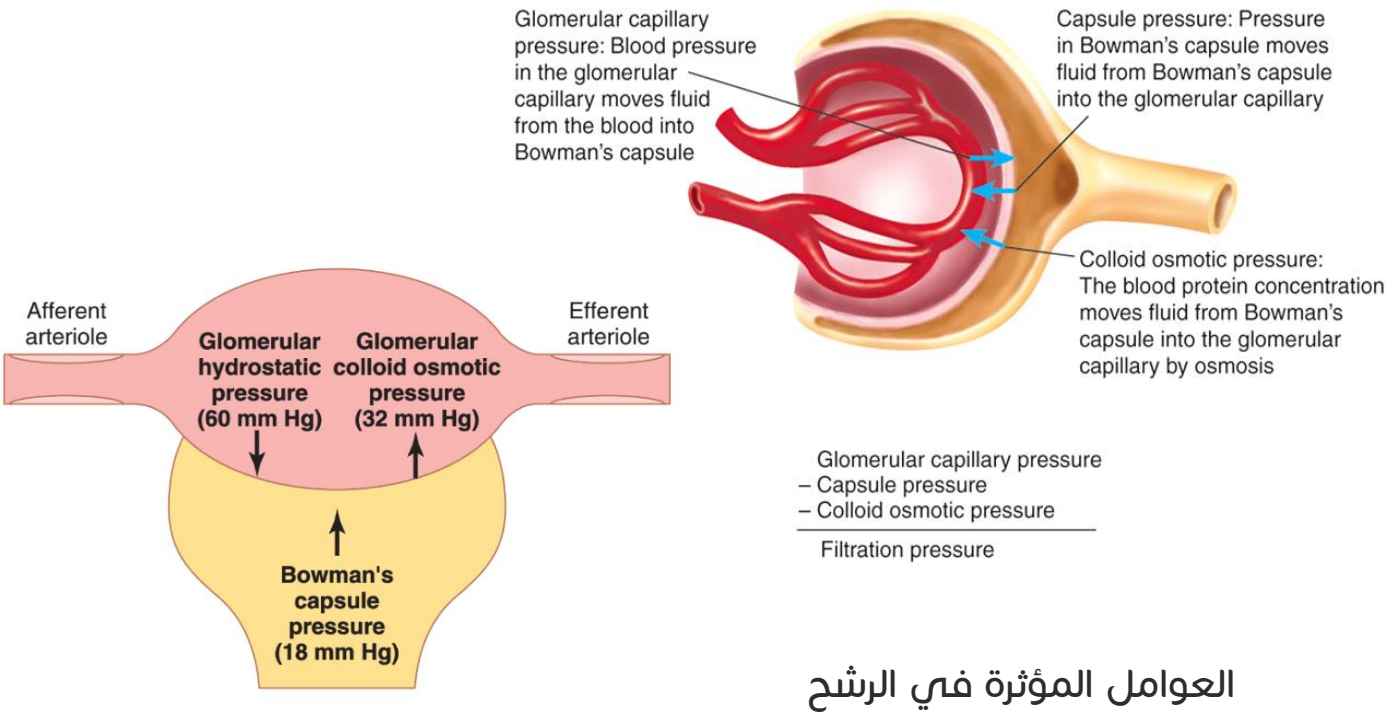
4-الضّغط التّناضحي الغرواني للبروتينات داخل محفظة بومان Bowman's Capsule
Colloid Osmotic Pressure:

وهو **يساعد على الرّشح** ولكنّ في الحالة السوية تكون كمية البروتينات الموجودة زهيدة بحيث يمكن اعتبار هذا العامل مساوياً للصفر.

الضغط الرشحي Net filtration Pressure

- هو الضّغط الصّافي الذي يدفع السائل عبر الغشاء الكبيبي.
- يُحسب بالطريقة التالية: الضّغط الرّشحي = الضّغط المائي السّكوني الكبّي – (الضغط التناضحي الغرواني لبروتينات المصوّرة + ضغط محفظة بومان).
- الضّغط الرّشحي = 60 – (32 + 18) = 10 ملم زئبقي.

- إذاً بضغط رشحي يساوي 10 ومساحة غشاء ونفوذية معينة (أي معامل رشح K_f معين) يصبح معدل الرشح الكبي يساوي 125 لتر في الدقيقة.
- أي تغيير في هذه العوامل سيغير في معدل الرشح.
- في حالات النزف يتناقص معدل الرشح الكبي للحفاظ على الجريان الدموي المناسب وضغط الدم في حدوده السوية.



العوامل المؤثرة في الرشح

العوامل المؤثّرة على مُعدَّل الرَّشح الكُبّي

✧ سنستثني من حديثنا معامل الرشح؛ ليس لأنه غير مؤثّر في معدل الرشح بل لأننا نعتبره ثابت.

✧ من المهم معرفة أن أيّ عامل يزيد معدل الجريان في الكبة الكلوية فإنه يزيد من معدل الرشح.

1- الضغط المائي السكوني داخل الشعريات الكبية[23]:

يتحدد بثلاثة عوامل متغيرة هي:

الضغط الشرياني

- ارتفاعه يؤدي إلى ارتفاع الضغط المائي السكوني في الكبة الكلوية وبالتالي يزداد الرشح الكبي.

المقاومة في الشّرين الوارد

- تضيّق الشّرين الوارد (زيادة مقاومته) تنقِص الضغط المائي السكوني وبالتالي يَنقص الرشح الكبي.
- توسّع الشّرين الوارد يئدي إلى زيادة كلاً من الضغط السكوني والرسح الكبي

المقاومة في الشّرين الصادر

- التضيق متوسط الشدة يزيد من الرشح الكبي
- التضيق الشديد ينقص من الرشح الكبي

2-الضغط التناضحي الغرواني لبروتينات المصورة.

حيث تعمل البروتينات على جذب الماء.

3. الضغط داخل محفظة بومان.

[23] مهم في حال حدوث نزف غزير حيث من الممكن ان يتوقف عمل الكلية تماماً.

وفيما يلي أهم الحالات التي تؤثر على هذه العوامل وبالتالي تؤثر على معدل الرشح الكبي:

الجريان الدموي الكلوي

تؤثر زيادة مُعدَّل الجريان الدموي الكلوي على الرشح الكبي بآلية مُرَكَّبة:

- ❖ من جهة يرفع الضغط المائي السكوني في الأوعية الكبيّة وبالتالي **يزيد الرَّشح الكبِّي**.
- ❖ ومن جهة أُخرى فإن زيادة الرَّشح الكُبِّي تؤدي إلى **زيادة تركيز بروتينات المصورة** وبالتالي زيادة الضغط التناضحي الغرواني للمصورة الذي يؤدي إلى **نقص الرَّشح الكُبِّي**.
- ❖ ولكنَّ محصِّلة العاملين تكون **لصالح زيادة الرَّشح الكبّي**.

تأثير تضيّق أو توسّع الشُّرين الوارد

- ❖ **تضيُّق الشُّرين الوارد** يُنقِص معدَّل الجريان الدموي عبر الكبب التي تقع بعده **فيُنقص الرَّشح الكُبِّي**.
- ❖ **توسُّع الشُّرين الوارد** يزيد من معدل الجريان الدموي عبر الكبب وبالتالي **يزيد الرَّشح الكُبِّي**.

- على الرغم من أن تضيق الشُّرين الوارد يرفع الضغط فيه (يُفتَرَض أن زيادة الضغط تزيد الرشح) لكنه بالمحصلة يخفض الجريان الدموي للكبة الكلوية، بالتالي يقل الضغط في الكبة ويقل معدل الرَّشح.
- وبالمقابل توسع الشُّرين الوارد ينقص الضغط لكنه يزيد من كمية الدم الواصلة للكبة الكلوية فتكون المحصلة لصالح ارتفاع الضغط فيزيد الرشح الكبي.

توسّع الشّرين الوارد	زيادة الضغط في الكبب	زيادة معدل الرّشح الكبّي
تضيّق الشّرين الوارد	نقصان الضغط في الكبب	نقص معدل الرّشح الكبّي

تأثير تضيُّق الشُّرين الصادر

- ❖ يؤدي تضيق الشُّرين الصَّادر إلى زيادة مقاومة الجريان الدموي في الكبب مما يؤدي إلى زيادة الضغط السكوني الكبي (بالتالي يزيد الرشح الكبي)، لكنه بنفس الوقت يؤدي إلى نقص الجريان الكبي وزيادة مدّة مكوث المصورة وبروتيناتها في الأوعية الدموية (تعمل على سحب الماء بالتالي ينقص معدل الرشح).

❖ وهنا نكون أمام حالتين:

✓ التضيُّق **المتوسّط الشّدة** للشُّرينات الصَّادرة: يكون تأثير ازدياد الضغط السكوني الكبي أكبر من تأثير نقص الجريان، والمحصلة هي **زيادة معدَّل الرَّشح الكُبِّي**.

✓ التضيق **الشديد** للشُّرينات الصَّادرة (كأن تزداد ثلاثة أضعاف): يكون تأثير نقص الجريان وزيادة مدّة مكوث المصورة في الأوعية الدموية -وبالتالي ارتفاع الضغط التناضحي الغرواني داخل الكبب- أكبر من تأثير ارتفاع الضغط السكوني، وبالمحصلة تكون النتيجة **نقص واضح في الرشح الكبي**.

تضيّق متوسط للشّرين الصادر	زيادة الضغط في الكبب	زيادة معدل الرّشح الكبّي
تضيّق شديد للشّرين الصادر	ارتفاع الضغط التناضحي الغرواني في الكبب	نقص معدل الرّشح الكبّي

التحكم الفيزيولوجي بمعدل الرشح الكبي والجريان الدموي الكلوي

1. تأثير الجملة العصبية الودية:

- تتلقى جميع أوعية الكلية تعصيباً ودياً بشكل أساسي.
- يؤدي التنبيه الودي الشديد (كما في حالات النزف الغزير ونقص سوائل الجسم "التجفاف") إلى تقبُّض جميع الأوعية الكلوية فينقص معدل الجريان الدموي الكلوي بمعدل 20% وبالتالي ينقص الرشح الكبي.
- لا يؤثر التنبيه الودي الخفيف إلى متوسط الشدة إلا بشكل ضعيف على الرَّشح الكبِّي لدرجة أنه يمكن إهماله.

2. تأثير الهرمونات والمواد المفرزة موضعياً:

- الأدرينالين والنورأدرينالين:

1. يُفرَزان من لب الكظر.
2. لهما تأثير مشابه لتأثير الجملة الودية أي في حالة الكميات الكبيرة تتقبض الأوعية الكلوية وينقص الرشح الكبيّ.

- **الإندوتيلين Endothelin:**

مادة تُفرَز من بطانة الأوعية المتأذية (سواء الأوعية الكلوية أو غيرها من أوعية الجسم) وتؤدي إلى تقبُّض شديد في الأوعية الدموية للكلية فينقص الجريان الدموي وبالتالي ينقص الرشح.

- **الأنجيوتنسين II:**

1. مقبِّض وعائي شديد (حيث أنّه **يُقَبِّض الشُّرين الصّادر** بشكل أساسي).
2. يُفرز في حالات انخفاض ضغط أو حجم الدم (مثل نقص سوائل الجسم أو النزف الدموي).
3. يُقبّض الشُّرين الصادر فيزيد الرشح الكبي، ولكن بازدياد التركيز يعمل على تقبيض كلاً من الشُّرين الصادر والوارد فينقص معدل الرشح الكبي، ولكن يجب أن لا ينقص الرشح الكبي عن حد معين لوجود فضلات يجب التخلص منها..
4. نتيجةً لتقبيض الشُّرين الصادر يقل جريان الدم في الأوعية حول الأنابيب ويزداد الضغط التناضحي الغرواني مما يسمح بعود امتصاص الصوديوم والماء.
5. وبالتالي نتخلص من الفضلات مع عود امتصاص كبير للصوديوم والماء.

يحرض الأنجيوتنسين II إفراز الألدوستيرون الذي يزيد بشكل مباشر عود امتصاص الصوديوم في مناطق متعددة من الأنبوب البولي ويترافق عود امتصاص الصوديوم بعود امتصاص منفعل للكلور والماء.

- **أوكسيد النتريك NO:**

ينقص مقاومة الأوعية الكلوية وبالتالي يزيد الجريان ويزيد الرشح الكبي (مُوسِّع وعائي).

- **البروستاغلاندينات والبراديكينين:**

مُوسِّعات وعائية تميل إلى زيادة معدل الرشح الكبي.

التّنظيم الذاتي لمعدّل الرّشح الكبّي والجريان الدّموي الكلوي

- توجد **آليّات تلقيم راجع** في الكليتين تحافظ على معدّلات رشح ثابتة (على الرّغم من تغيّر الضغط الشّرياني).
- تملك هذه الآليّة من التلقيم الرّاجع مكوّنين يعملان مع بعضهما للتحكم بمعدل الرشح الكبي:
  - ✧ آليّة تلقيم راجع في الشُّرين الوارد.
  - ✧ آليّة تلقيم راجع في الشُّرين الصّادر.
- تعتمد هاتان الآليّتان في عملهما على بنية تدعى **الجهاز المجاور للكبب**.

- إنّ آليّة التنظيم الذاتي **ليست دقيقة 100%** ولكنّها تمنع وبقوّة التغيّرات في معدّل الرّشح الكبّي وإفراغ السوائل والأملاح التي يمكن أن تحدث مع تغيُّر الضّغط الشّرياني.
- حيثُ أنَّ انخفاض الضغط الشرياني إلى 75 مم زئبقي أو ارتفاعه إلى 160 مم زئبقي يؤدي إلى تغيُّر طفيف في مُعدَّل الرَّشح الكبّي (GFR) بفضل وجود هذه الآليّة.
- تعمل هذه الآليّة حتى في الكلى المستأصلة (أيّ أنّها **آليّة داخليّة مستقلة** لا علاقة للجملة العصبيّة الذاتيّة فيها).

ملاحظات:

- ذكر الدكتور أن آلية التلقيم الرّاجع الكبيبي الأنبوبي تعمل عند ارتفاع الضغط الشّرياني أو انخفاضه.
- فعند ارتفاع الضغط الشرياني سيؤدي ذلك إلى ارتفاع الضغط المائي السّكوني الكبّي، على سبيل المثال: إذا أصبح الضغط المائي السّكوني الكبّي 70 مم زئبقي، فسيصبح الضغط الرّشحي 20 مم زئبقي وهو ضعف ما كان عليه فلولا وجود آليات التلقيم الرّاجع لأصبح معدّل الرّشح الكبّي ضعف ما كان عليه أي 250 مل/د.
- وعند انخفاض الضّغط الشّرياني[24] فإنّ ذلك سيؤدي إلى انخفاض الضغط المائي السّكوني الكبّي، على سبيل المثال: إذا أصبح الضّغط المائي السكوني الكبّي 55 مم زئبقي فسيصبح الضغط الرّشحي 5 مم زئبقي وهو نصف ما كان عليه فلولا وجود آليات التلقيم الرّاجع الكبيبي الأنبوبي لأصبح معدّل الرّشح الكبّي نصف ما كان عليه أي 60 مل/د.

الجهاز المجاور للكبب Juxtaglomerular Apparatus

يتألف الجهاز المجاور للكبب من جزأين:

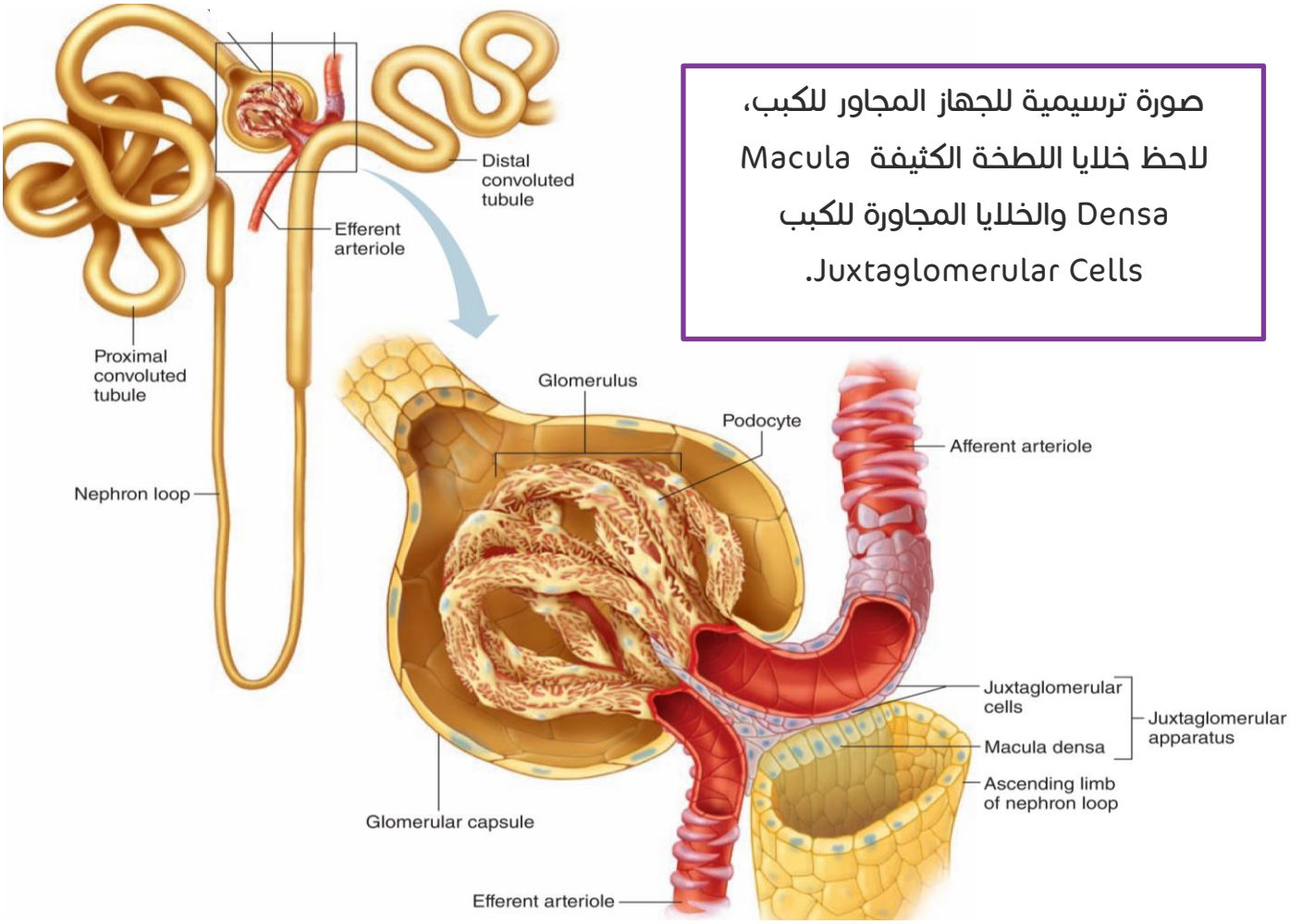
1- خلايا البقعة الكثيفة Macula Densa:

- وهي عبارة عن خلايا في بداية الأنبوب المعوجّ البعيد، تتحسّس شوارد **كلور الصّوديوم**.
- كما تتميّز بأنّ جهاز غولجي فيها يوجّه تأثيره نحو **الشُّرين الوارد والصّادر** (من المفترض توجيه عمله نحو لمعة الأنبوب البولي ولكنّه يوجّه تأثيره نحو الشّرين الوارد والصّادر).

[24] إنّ هبوط الضّغط الشّرياني تحت حدٍّ معيّن يؤدي إلى انعدام الرّشح الكبّي وبالنتيجة انعدام التخلص من الفضلات.

2-الخلايا المجاورة للكبب Juxtaglomerular cells:

الموجودة في **جدار** كل من **الشُّرين الوارد والصّادر**.



صورة ترسيمية للجهاز المجاور للكبب، لاحظ خلايا اللطخة الكثيفة Macula Densa والخلايا المجاورة للكبب Juxtaglomerular Cells.

كيف يعمل الجهاز المجاور للكبب؟

- سنتحدّث عن عمل الجهاز المجاور للكبب عند انخفاض الضّغط الشّرياني (كما في النزف الغزير).
- إنّ خلايا اللطخة الكثيفة حسّاسة لتركيز شوارد كلور الصوديوم التي تصل إلى الأنبوب المعوجّ البعيد، عند **نقص** تركيز شوارد كلور الصوديوم **تزداد** حساسيّة هذه الخلايا وفق الآلية التالية:

1. بانخفاض الضغط الشرياني ينخفض الضّغط المائي السّكوني الكبّي وبالتالي ينخفض معدّل الرّشح الكبّي.
2. تصل كمية قليلة من الرشاحة إلى الأنبوب المعوجّ البعيد نظراً لعود الامتصاص الذي جرى على الرشاحة في كلٍّ من الأنبوب المعوجّ القريب وعروة هانلة.

3. هذه الكمّيّة القليلة من الرّشاحة فقيرة بشوارد كلور الصوديوم مما يثير خلايا اللطخة الكثيفة.
4. عندما تستثار خلايا اللطخة الكثيفة فإنها تزيد الرشح الكبي عبر إرسال إشارتين:

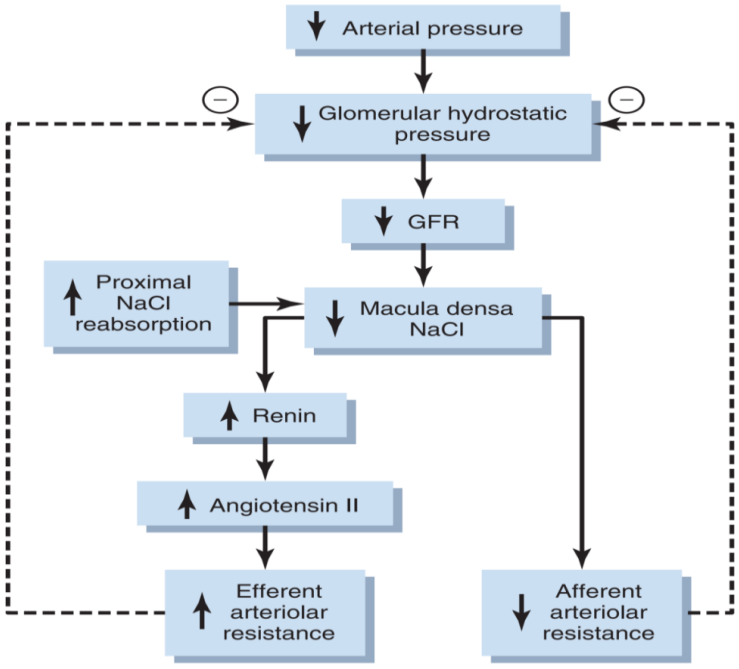
إشارة سريعة:

- ✓ وفق التلقيم الراجع السلبي إلى الشّرين الوارد فتنقص مقاومته ما يسبب **توسعه**.
- ✓ توسع الشّرين الوارد يؤدّي إلى زيادة الجريان الدموي وبالتالي **زيادة الرّشح الكبّي**.

إشارة بطيئة:

- ✓ إلى الخلايا المجاورة للكبب الموجودة في جدار الشّرين الوارد والصّادر.
- ✓ تحثّ هذه الإشارة الخلايا المجاورة للكبب على زيادة **إفراز الرينين**، الذي يؤثّر بدوره على **الأنجيوتنسينوجين** (مولد الأنجيوتنسين) الّذي يتشكّل في **الكبد** ويحوّله إلى **أنجيوتنسين 1**.
- ✓ يمرّ الأنجيوتنسين 1 بدوره إلى **الرّئة** ويتحوّل بوساطة الأنزيم القالب إلى **أنجيوتنسين 2**.
- ✓ إنّ الأنجيوتنسين 2 من أقوى المقبّضات الوعائيّة، ويُمارس تأثيره بآلية تلقيم راجع سلبي في الكلية بشكل تمييزي على **الشّرين الصّادر**[25] ، فيقبّضه ممّا يؤدّي إلى زيادة الرّشح.

عند عودة تركيز شوارد كلور الصوديوم إلى الكمية السوية تتوقف إشارات اللطخة الكثيفة.



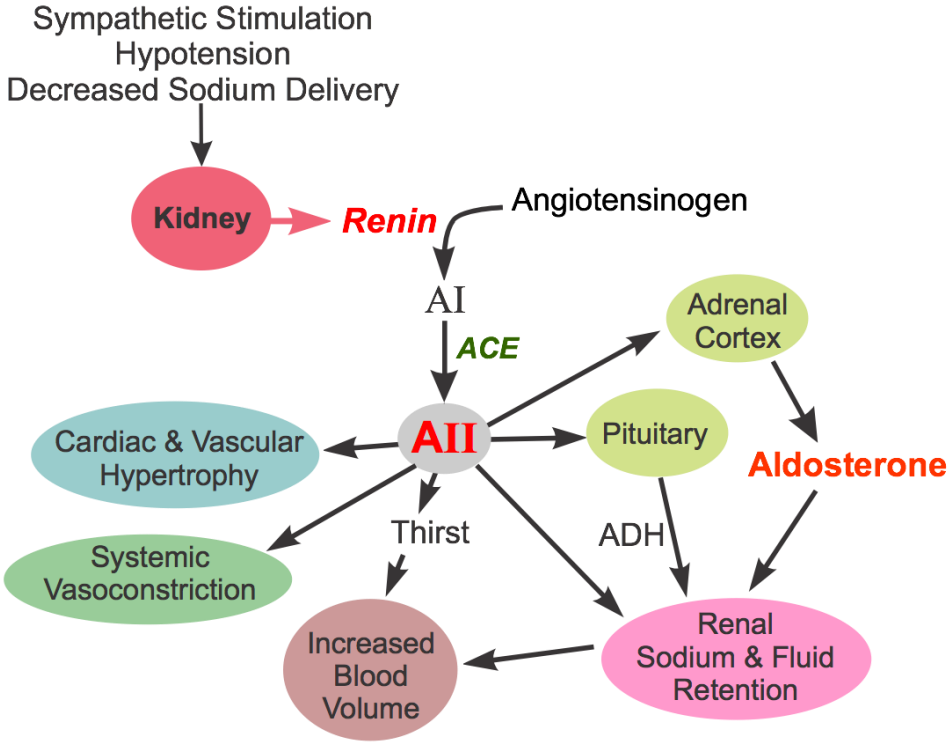
[25] حساسية الشريّن الصادر للأنجيوتنسين 2 اعلى من الشريّن الوارد.

إضافة آربسيزية من المراجع للفهم:

❖ إن لجملة الرينين أنجيوتنسين دور مهم في رفع الضغط الدموي المنخفض وتقوم هذه الجملة بعملها بواسطة عدد من التأثيرات وعلى عدد من الأعضاء حيث تؤثر على:

1. **الأوعية الدموية**: وتسبب تضيّقها.
2. **الأوعية الكلوية**: بدايةً يؤثر الأنجيوتنسين2 على الشّرين الصادر مما يسبب تضيقه وازدياد الرشح الكبّي ولكن عند ازدياد تركيز الأنجيوتنسين 2 يؤثر على الشريّن الوارد أيضاً ويقبضه وبالمحصلة يقل الرشح الكبيّ.
3. **النبيب المعوج القريب**: حيث يزيد عود امتصاص الصوديوم فيه والذي يترافق مع عود امتصاص منفعل للماء.
4. **النخامة الخلفية**: التي تحرر الهرمون المضاد للإبالة ADH والذي يؤثر على النبيب الملفف البعيد والقناة الجامعة فيزيد من عود امتصاص الماء.
5. **قشر الكظر**: يحثّها على إفراز الألدوستيرون والذي يؤثر على النبيب الملفف البعيد والقناة الجامعة فيقوم بإعادة امتصاص للصوديوم مقابل طرح البوتاسيوم ويترافق عود امتصاص الصوديوم مع عود امتصاص الماء.
6. **مستقبلات العطش**: فتزداد الرغبة في شرب الماء.

❖ وبمحصلة هذه التأثيرات يزداد حجم الدم وتتضيق الأوعية الدموية فيرتفع ضغط الدم.



مخطط توضيحي لآلية عمل الأنجيوتنسين II

فيديو يوضح آلية عمل الأنجيوتنسين 2

آليات وأمثلة أخرى تتحكم في الرشح الكبّي

الآلية عضلية المنشأ للتحكم في الجريان الدموي الكلوي والرشح الكبي

تتحسس الألياف العضلية في الأوعية الكلوية الضغط الدموي، ونميّز حالتين:

- عند ازدياد الجريان الدموي الكلوي تتقبض الأوعية الكلوية مما يؤدي لنقص الجريان داخل الكليتين.
- عند انخفاض الجريان الدموي داخل الكليتين تتقبض الأوعية الكلوية مما يؤدي إلى ازدياد سرعة الجريان داخل الكليتين.

الغذاء عالي البروتين

يزداد الجريان الدموي الكلوي والرشح الكبي بمعدل 20-30٪ بعد ساعة إلى ساعتين من تناول كميات كبيرة من البروتين (وجبة غنية باللحوم مثلاً).

داء السكري

يزداد في هذه الحالة الجريان الدموي الكلوي والرشح الكبي.

إضافة من مرجع غايتون للفهم:

- أحد التفسيرات الممكنة لارتفاع الرشح الكبي في الغذاء العالي البروتين وداء السكري هو أن الغلوكوز وبعض الأحماض الأمينية تُمتَص مع الصوديوم بالنقل الفاعل الثانوي، ولذلك امتصاصها يترافق مع عود امتصاص الصوديوم.
- عند ارتفاع تركيز هذه المواد في الدم سيزداد عود امتصاص الصوديوم، فسيصل تركيز ضئيل من الصوديوم إلى البقعة الكثيفة مما يُثير خلاياها فترسل إشارات ترفع الرشح الكبي كما شرحنا سابقاً.

Overview

- ✓ النفرون هو الوحدة الوظيفية للكلية، وتحتوي كل كلية نحو مليون نفرون.
- ✓ يبلغ الضغط المائي السكوني في السرير الكبّي الوعائي نحو **60 مم زئبقي** ويتسبب برشح السوائل.
- ✓ يبلغ الضغط المائي السكوني في الأوعية الدموية حول الأنابيب نحو **13 مم زئبقي** ويسمح بإعادة امتصاص السوائل.

- ✓ للكلية عدة وظائف، أهم وظيفتين:
  1- تخليص الجسم من الفضلات.
  2- التحكم بحجم وتركيب سوائل الجسم.
- ✓ يتألف النفرون من كبة كلوية يحصل فيها رشح للسوائل، وأنبوب بولي تجري فيه عدة عمليات على الرشاحة من إفراز وإعادة امتصاص.
- ✓ يستطيع الإنسان القيام بمهام الكليتين بنصف كلية سليمة.
- ✓ يرشح نحو خُمس المصورة الدموية بكافة مكوناتها ما عدا البروتينات، وهي عملية منفعلة.
- ✓ يعاد امتصاص 99٪ من الرشاحة وهي عملية فاعلة تحتاج إلى طاقة.
- ✓ معدل الرشح الكبي GFR هو كمية الرشاحة الكبية المتشكلة في كل دقيقة في جميع النفرونات وفي كلا الكليتين، وهي تساوي تقريباً 125 مل/د عند الشخص السوي.
- ✓ معدل الإفراغ البولي = معدل الرشح - معدل عود الامتصاص + معدل الإفراز.
- ✓ تعمل اللطخة الكثيفة على تنظيم الرشح الكبي عبر تحسس مستوى شوارد كلور الصوديوم.

مقارنة بين نوعي النفرونات

النفرونات القشرية	النفرونات المجاورة للب
تتوضع كبيباتها في المنطقة السطحية من القشر الكلوي.	تتوضع كبيباتها في القسم العميق من القشر الكلوي.
تتميز بعرى هانلة قصيرة جداً ورقيقة ولا تعبر سوى مسافة قصيرة جداً في القسم السطحي من اللب.	تتميز بعرى هانلة طويلة جداً وقطع رقيقة طويلة بشكل خاص وتتجه إلى المنطقة الداخلية من اللب.
تشكّل 85% من النفرونات عند الإنسان.	تشكّل 15% من النفرونات عند الإنسان.

مقارنة بين العمليات التي تتم على المواد في الكلية

الرشح الكبي	إعادة الامتصاص	الإفراز
مُنفعِل ولا يحتاج صرف طاقة	فاعل ويحتاج صرف طاقة	فاعل ويحتاج صرف طاقة
يتم الرشح عبر الشبكة الشعرية الكبية لمحفظة بومان.	يتم إعادة امتصاص المواد من الأنابيب لشبكة الشعريات حول الأنابيب.	يتم الإفراز من شبكة الشعريات حول الأنابيب إلى الأنابيب.
غير نوعي[26]	نوعي	نوعي

26 اي غير نوعي لمكونات المصورة.

مراجعة للآليات الأربع للتعامل مع المواد المرتشحة[27]

كيف تُعامل المادة	تركيزها في البول	مثال
A- رشح بحريّة.	125 ملغ/د	الكرياتينين
B- رشح مع عود امتصاص جزئي.	بين 0 و 125 ملغ/د	الشوارد[28]
C- رشح مع عود امتصاص كلي.	0 ملغ/د	الحموض الأمينية والغلوكوز
D- رشح مع إفراز.	أكبر من 125 ملغ/د	الأدوية والسموم

العوامل المؤثرة في الرشح

الضغط المؤثّر	قيمته	تأثيره على معدّل الرّشح
الضغط داخل الشعيرات الكبية P_G	60 مم j	يسمح بالرّشح
الضغط داخل محفظة بومان P_B	18 مم j	يعاكس الرّشح
الضغط التناضحي الغرواني لبروتينات المصوّرة π_G	32 مم j	يعاكس الرّشح
الضغط التناضحي الغرواني للبروتينات داخل محفظة بومان π_B	يُهمَل	يساعد على الرّشح ولكن تأثيره ضعيف جداً

العوامل التي تؤثر في معدل الرشح

العامل المؤثّر	تأثيره على قوى الضّغط المائي السّكوني والضغط الغرواني	تأثيره على مُعدّل الرّشح الكبّي
زيادة الجريان الدّموي	تأثيره مركّب: ♥ يرفع الضغط المائي السّكوني في الكبب (فيرتفع معدل الرشح). ♥ إنّ زيادة معدّل الرشح ترفع الضغط التناضحي الغرواني للمصورة فينقص معدّل الرّشح. ♥ تكون محصّلة العاملين لصالح زيادة معدّل الرشح الكبّي.	
توسّع الشُّرين الوارد	يزيد جريان الدم في الكبب فهو يزيد الضغط فيها.	زيادة معدّل الرّشح الكبّي.

27 تنويه: يجب أن نعرف من تركيز المادة في البول ماذا طرأ عليها ولكن مع فرض أنّ تركيزها 1 ملغ في كل 1مل بلازما.

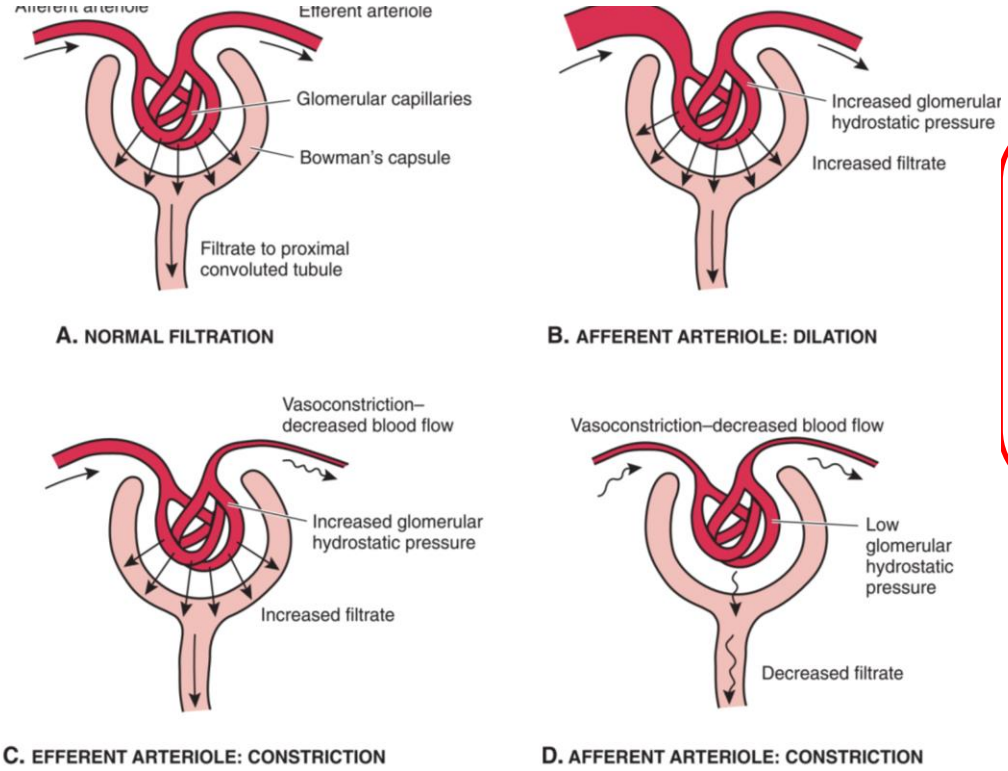
28 كما ذكرنا تختلف معاملتها حسب تركيزها في الدم.

تضيُّق الشُّرين الوارد	يُنقِص جريان الدم في الكبب فهو ينقص الضغط فيها.	نقص معدّل الرّ ّشح الكُبّي.
تضيّق الشُّرين الصّادر	المتوسط الشّدة	زيادة الضغط السكوني الكبي.	زيادة معدّل الرَّشح الكبّي.
	الشديد	ارتفاع الضغط التناضحي الغرواني للمصورة داخل الكبب.	نقص معدّل الرّشح الكبّي.

Hormone or Autacoid	Effect on GFR
Norepinephrine	↓
Epinephrine	↓
Endothelin	↓
Angiotensin II	↔ (prevents ↓)
Endothelial-derived nitric oxide	↑
Prostaglandins	↑

جدول يلخص تأثير العوامل الهرمونية على معدل الرشح الكبي

فيديو عرضه الدكتور في المحاضرة



صورة ترسيمية توضّح بعض العوامل المؤثرة على معدّل الرّشح الكبي:
B- توسّع الشُّرين الوارد. C- تضيّق الشُّرين الصّادر (متوسط الشّدة). D- تضيّق الشّرين الوارد.

نصل وإياكم إلى نهاية محاضرتنا ^_^ نلقاكم في ملاحق قادمة..