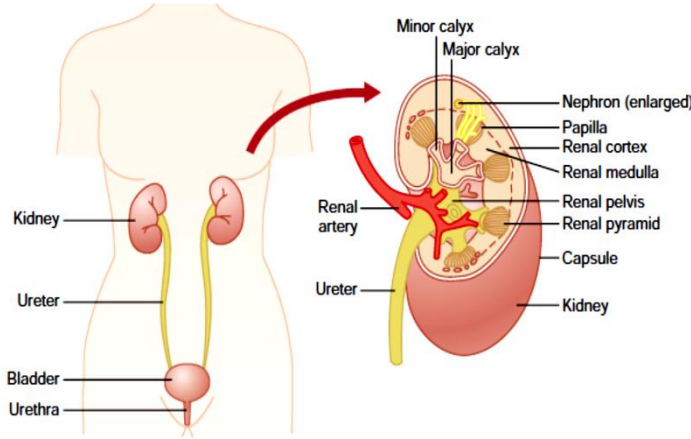


الجهاز البولي أهم أجهزة الإطراح في الجسم:

- يعمل على التخلص من فضلات الاستقلاب.
- تأمين الاستتباب الداخلي للجسم: توازن الماء والشوارد
- تنظيم التوازن الحمضي الأساسي.
- تنظيم الضغط الشرياني
- تولد الكريات الحمر

التشريح الوظيفي للجهاز البولي:

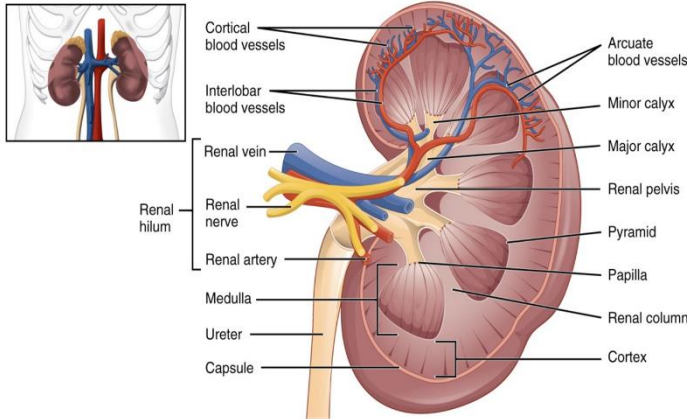
- يتركب جهاز البول من الكليتين والحالبين والمثانة والاحليل.
- الكليتان: تتوضعان على جانبي العمود الفقري تحت الحجاب الحاجز، اليمنى منخفضة قليلاً بالنسبة



- ليسرى، وزن الكلية الواحدة حوالي 150-200 غرام، حافظتها الأنسية مقعرة تحوي سرة الكلية التي يدخل منها الشريان الكلوي ويخرج منها الحالب والوريد الكلوي والوعية اللمفاوية، تمر عبرها أيضاً أعصاب الكلية.

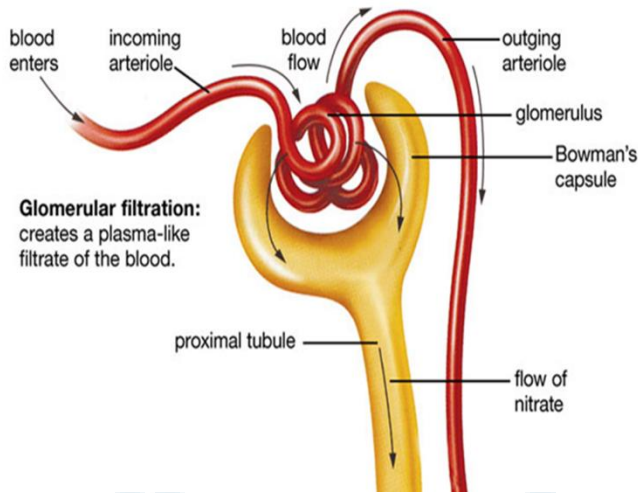
- يعلو القطب العلوي للكلية غدة تدعى الكظر Adrenal gland

المقطع السهمي للكلية (من الخارج الى الداخل):



- المحفظة الكلوية: Renal capsule: غشاء ضام رقيق.
- القشر الكلوي renal cortex بسماكة 1 سم.

- اللب: renal medulla منطقة أكثر سماكة تلي القشر، تحوي أشكال هرمية Renal pyramid تدعى أهرامات مالبيكي قواعدها باتجاه المحيط وذراها نحو المركز،
- يجتمع عدد من الأهرامات لتنتهي في كؤيس كلوي calyx الذي يصب بدوره في الحوض الكلوية Renal pelvis
- يشكل الاتصال الكؤيسي – الحويضي الحد الفاصل بين الكلية والطرق البولية.
- نسيجياً: الوحدة الوظيفية في الكلية هي النفرون (الكليون)، تحوي كل كلية حوالي مليون نفرون بالإضافة للأوعية الدموية واللمفاوية وأعصاب منتشرة ضمن نسيج ضام.



يتألف النفرون من الكبيبة والأنبوب الكلوي.

**الكبيبة الكلوية Glomerulus:** هي

مجموعة من الأوعية الشعرية الناجمة عن

تفرع الشريان الوارد (فرع من الشريان

الكلوي) تجتمع فيما بعد لتشكل الشريان

الصادر، تحاط الشعيرات الكبيبة

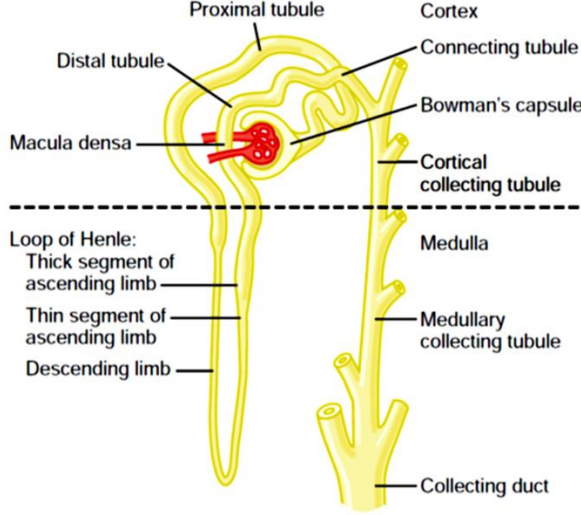
بمحفظة من نسيج ضام تدعى محفظة

بومان Bowman's capsule مؤلفة من

وريقتين، الأولى حشوية تلتصق بالشعيرات والثانية جدارية بينهما فراغ يتمادى مع الأنبوب الكلوي في القطب المقابل للقطب الدموي.

## الانبوب الكلوي Renal Tubule:

يتألف من:



• الأنبوب القريب proximal tubule:

يتمادى مع محفظة بومان يوجد في

القشر، خلاياه غنية بالمتقدرات

لذلك تتميز بقدرة عالية على النقل

وإعادة الإمتصاص.

• عروة هانلة loop of henle: تلي

الأنبوب القريب، على شكل U،

الشعبة الأولى نازلة من القشر نحو

اللب، نفوذ للماء وخلاياه فقيرة بالمتقدرات.

القسم الصاعد أكثر اتساعاً ويعود من اللب نحو القشر، غير نفوذ للماء لكن خلاياه غنية بالمتقدرات وذات قدرة كبيرة على إعادة امتصاص الشوارد.

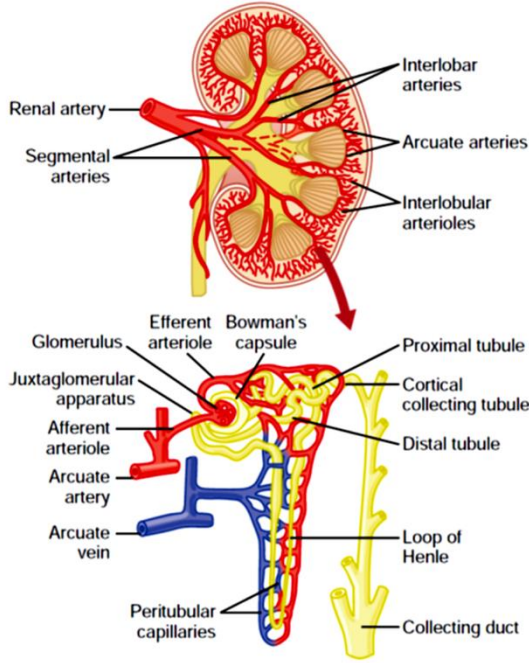
• الأنبوب البعيد distal tubule: يبدأ بقسم مستقيم يحوي اللوحة الكثيفة Macula densa ثم

القسم المعوج.

• الأنبوب الجامع collecting tubule: يبدأ في القشرة بعد الأنبوب المعوج البعيد ويتجه نحو اللب

بشكل موازي لعروة هانلة ليفرغ محتوياته في الكؤيسات.

الأوعية الدموية الكلوية: يدخل الشريان الكلوي من سرة الكلية وينقسم إلى قسمين، ثم يتفرع إلى فروع عديدة



ليشكل الشريينات الواردة، تتفرع إلى شعيرات دقيقة تسمى الكبيبة الكلوية، لتعود الشعيرات وتجتمع مشكلة الشرين الصادر الذي يتفرع من جديد إلى أوعية شعيرية تحيط بالأنايب الكلوية ومنها شعيرات مستقيمة توازي عرى هائله تتجه نحو اللب ثم تعود للقشر، تجتمع الشعيرات مجدداً لتشكل الوريدات التي تنتهي في أوردة تصب في الوريد الكلوي، يسير الوريد موازياً للشريان الكلوي لكن بالاتجاه المعاكس.

- ترافق الاوردة أوعية لمفية كلوية وأعصاب ذاتية ودية ونظيرة ودية.

#### الجريان الدموي الكلوي:

- تتمتع الكلية بنتاج دموي عالي يبلغ 1200 مل/د ويشكل 20-25% من النتاج القلبي.
- الضغط في الشريان الكلوي مرتفع وذلك لقصر الشريان وتفرعه مباشرة من الأهر وصغر قطر الشريينات الصادرة نسبة للواردة، حيث يبقى الضغط في الشريان الكلوي 100 ملمز وفي الكبيبات حوالي 50 ملمز وينخفض تدريجياً ليصل إلى 8 ملمز في الوريد الكلوي.
- إن 90% من الجريان الدموي الكلوي يكون في القشر والباقي في اللب.
- أهم عامل ينظم النتاج الدموي الكلوي هو جملة الرينين – انجيوتنسين II.

الوظيفة الإطراحية للجهاز البولي:

تتحقق هذه الوظيفة عن طريق ثلاث آليات :

1. الترشيح Filtration: يرشح خمس المصورة من الغشاء الكبيبي إلى الأنابيب.

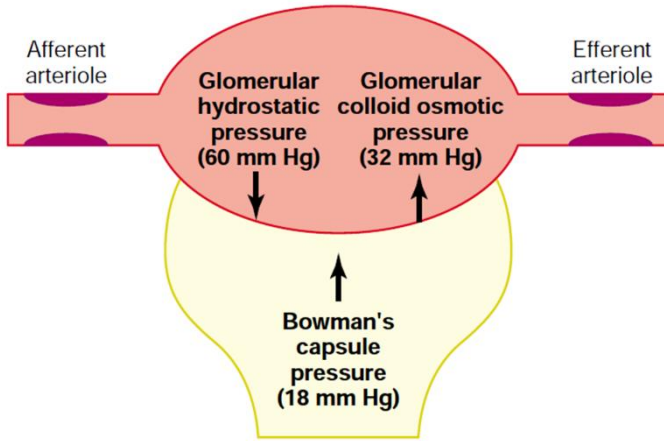
2. إعادة الامتصاص Reabsorption

3. الإفراز Secretion

## الترشيح الكبيبي Glomerular Filtration

- يتم الرشح في الكبيبات الكلوية: ترشح سوائل المصورة عبر مسامات الشعيرات الدموية في الكبيبة الكلوية، فقط الكريات والجزيئات البروتينية لا تمر من هذه الثقوب لكبر حجمها بالنسبة للثقوب ولشحنتها السالبة الموافقة لشحنة الثقوب أيضاً.
- الرشاحة الكبيبية تشابه المصورة الدموية في التركيب إلا أنها لا تحوي بروتينات ولا كريات.
- يعتمد الترشيح على محصلة الضغوط الفعالة على طرفي الغشاء وعلى مساحة ونفوذية غشاء الترشيح.

الضغط الفعال للترشيح: الضغط الأساسي الذي يدفع السائل للخروج من الشعيرات إلى محفظة بومان هو



الضغط السكوني في الكبيبة، الذي يرتبط بحجم الدم ومقوية الشرين الوارد ويعادل 60 ملم ز، يعاكسه ضغطان: الضغط الغرواني للمصورة الذي يسحب السائل للبقاء داخل الوعاء الدموي ويعادل 32 ملم ز، والضغط السكوني داخل محفظة بومان الذي يدفع السائل للعودة إلى الشعيرات ويعادل 18 ملم ز.

بالنتيجة الضغط الفعال للترشيح يعادل 10 ملم

ز تدفع السائل للخروج من الشعيرات إلى لمعة محفظة بومان.

معدل الترشيح: 125 مل/د

كمية الرشاحة: 180 لتر/اليوم

العوامل المؤثرة في معدل الترشيح الكبيبي:

- تزداد عند:

➤ زيادة الجريان الدموي بزيادة الحجم أو توسع الشرين الوارد.

➤ نقص الضغط الغرواني للمصورة.

➤ أذية البطانة الشعرية والظهارة النبيبية

• تقل عند:

❖ زيادة الضغط الغرواني للمصورة.

❖ نقص الجريان الدموي الكلوي (الزروف)

❖ نقص عدد النفرونات العاملة.

❖ ارتفاع الضغط داخل محفظة بومان (حصة).

إعادة الامتصاص في الأنبوب القريب:

- يتم في الأنبوب القريب إعادة امتصاص ثابت وإجباري ل 80 % من حجم الرشاحة الكلوي، يتم إعادة امتصاص السكر والحموض الأمينية.
- يبقى السائل معادل التوتر أي يكون الامتصاص بنسب ثابتة للماء والعناصر المنحلة.
- تتم إعادة الامتصاص هنا عبر مضخة الصوديوم بوتاسيوم  $\text{Na-K ATPase}$  الموجودة على السطح الجانبية والقاعدية للخلايا الظهارية.

النقل المرافق للصوديوم:

تعمل مضخة الصوديوم البوتاسيوم على إخراج 3 شوارد صوديوم وإدخال شاردتي بوتاسيوم إلى داخل

الخلية، مما يحدث شحنة سلبية داخل الخلايا

تعادل 70 ميلي فولط مع نقص في شوارد

الصوديوم داخل الخلايا نسبة للمعة الأنبوب

القريب،

يشكل فرق الشحنة قوة دفع لشوارد الصوديوم من

المعة إلى الخلايا التي يوجد على جدارها حامل

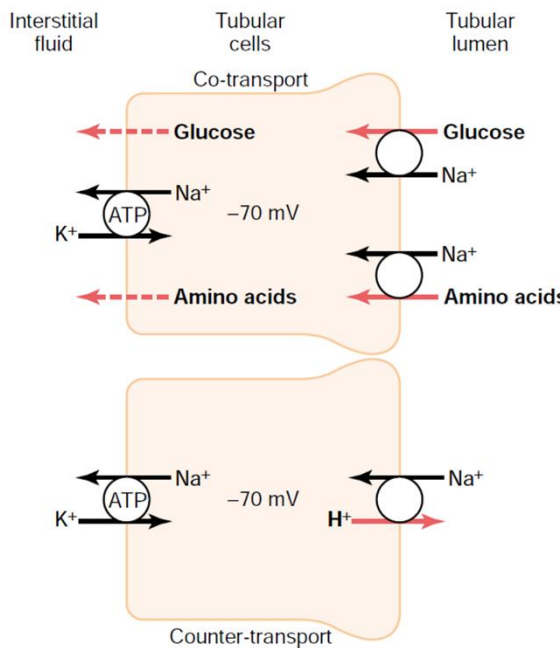
بروتيني خاص للصوديوم يحمله نحو الداخل لفرق

الشحنة الكهربائية،

بنفس الوقت يقوم هذا الحامل بنقل السكر أو

الحموض الأمينية لداخل الخلايا مرافقة

لصوديوم بما يسمى "النقل المرافق للصوديوم".



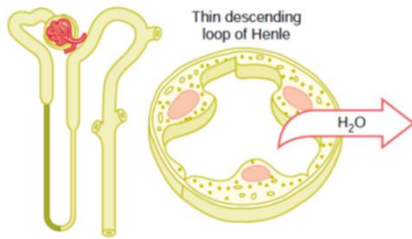
انتقال الذوائب لداخل الخلايا يسحب معه الماء بفارق الضغط الحلوي.

يخرج الصوديوم إلى الخلال بالمضخة تتبعه المركبات الأخرى بفرق التركيز والماء بفارق الضغط الحلوي ومن الخلال تنتشر نحو الأوعية الشعرية الدموية المجاورة تحت تأثير فرق الضغط بتوازن ستارلنغ وتلعب بروتينات المصورة دوراً مهماً في تأمين ضغط لسحب الماء والذوائب من الخلال إلى الأوعية الدموية.

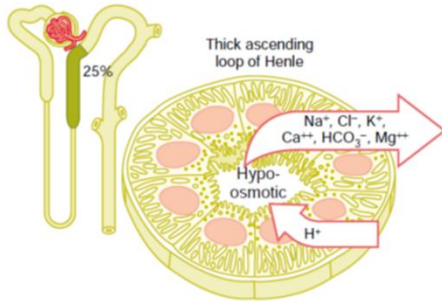
بالنتيجة: إعادة الامتصاص في مستوى الأنبوب القريب تحدث بتأثير فرق المدرج الكهربائي لنقص Na داخل الخلايا فتنتقل هذه الشوارد لداخل الخلايا على حامل خاص الذي ينقل معها السكر والحموض الأمينية وتتبعه بقية الذوائب والماء بفرق الضغط الحلوي.

النقل في مستوى عروة هانلة:

• يعاد امتصاص الماء وكمية من الشوارد بحدود 15%.



• القطعة النازلة شديدة النفوذية للماء لكنها غير نفوذة للعناصر الأخرى لذلك يخرج الماء وتصبح الرشاحة زائدة الحلوية، تسمى هذه القطعة بقطعة التكتيف، بينما القطعة العريضة الصاعدة نفوذة للشوارد وكتيمة للماء فتخرج الشوارد ويبقى الماء وتصبح الرشاحة ممددة ناقصة الحلوية، تسمى هذه القطعة بقطعة التمديد.



• يعود ذلك للنقل الفعال للكلور في القطعة الصاعدة مما يحدث مدرج كهربائي يدفع الشوارد الموجبة لدخول الخلايا ومنها تنتقل إلى الخلال ثم الأوعية الدموية، تزداد حلولية الخلال وبما أن طرفي العروة متقاربان فهذه الزيادة في الحلول تؤمن الضغط اللازم لإخراج الماء من القسم النازل لعروة هانلة.

النقل في مستوى الأنبوب البعيد والقناة الجامعة:

• يتم في هذا المستوى عودة امتصاص الماء والشوارد باستمرار وبشكل متغير حسب تركيز المواد في المصورة حيث يزداد امتصاص المواد إذا نقص تركيزها في المصورة وبالعكس يزداد طرحها إذا زاد تركيزها في المصورة

• يتم الامتصاص بطريقتين:

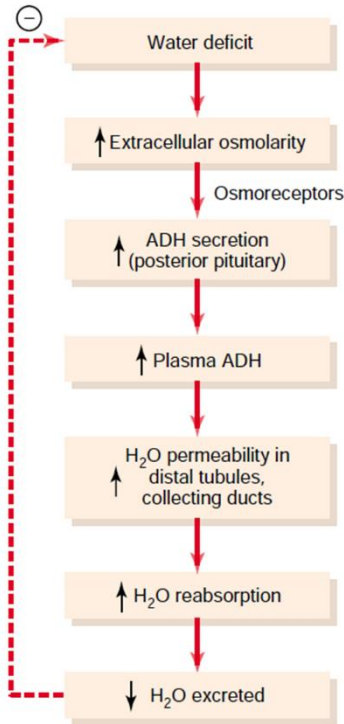
• نقل منفعل سلبي لا يحتاج لطاقة ويتم وفق المدرج الكهربائي والكيميائي أو انتقال مسهل دون طاقة لكن مع وجود ناقل نوعي.

• نقل فعال بعكس التركيز باستعمال ATP مع وجود ناقل بروتيني (نقل السكر والحموض الأمينية وشوارد  $K^+$  و  $Na^+$ ).

• يؤثر في عود الامتصاص على مستوى الأنبوب البعيد والقناة الجامعة هرمونين هما:

الألدوستيرون والهرمون المضاد للإدرار

الألدوستيرون: يفرز من قشر الكظر، يزداد افرازه في حال نقص الصوديوم أو فرط البوتاسيوم، يعمل على زيادة امتصاص الصوديوم وإطراح البوتاسيوم على مستوى الأنبوب البعيد عن طريق زيادة النقل الفعال للصوديوم.



الهرمون المضاد للإدرار ADH Anti Diuretic Hormone

يفرز من النخامى الخلفية عند زيادة الحولية البلاسمية (أي عند نقص الماء) حيث يزيد عود امتصاص الماء.

ينقص افرازه عند زيادة الماء في العضوية وبالتالي يزيد طرح الماء الكلوي.

يوجد في الأنبوب البعيد والقناة الجامعة خلايا ظهارية من نمط خاص تفرز شوارد الهيدروجين بألية فعالة عند زيادة معدلها في الجسم وبذلك تعمل هذه الخلايا على ثبات درجة pH.

الوظائف غير الإطراحية للكليتين:

تنظيم الضغط الشرياني:

تنتج الكلية مواد رافعة للضغط الشرياني مثل الرينين الذي يفرز من الكلية عند تعرضها لنقص التروية ويعمل الرينين على تحويل الأنجيوتنسينوجين إلى أنجيوتنسين I ،

الذي يتحول تحت تأثير الأنزيم المحول إلى أنجيوتنسين II ،

الذي يرفع الضغط الشرياني عن طريق:



1. تقبيض الأوعية وزيادة حساسيتها للمقبضات الأخرى،

2. حبس السوائل بتأثير كلوي مباشر،

3. زيادة إفراز الالدوسترون الذي يعمل بدوره على حبس الماء،

4. زيادة إفراز الهرمون المضاد للإدرار الذي يؤثر على الكلية ويحبس الماء.

كما تنتج مواد خافضة للضغط الشرياني:

أنزيم الكاليكرين kallikrein الذي يحول الكينينوجين إلى براديكينين ذو التأثير الموسع للأوعية،

تفرز الكلية بروتاغلاندينات تعمل كموسعات وعائية تنقص الضغط الشرياني.

تنظيم تكوين الكريات الحمر:

• تصنع الكلية 90% من الأريثروبويتين (مكون الحمر) الذي يعمل على زيادة إنتاج الكريات الحمر في

النقي ويزداد إنتاج هذا العامل عندما تتعرض النسج وخاصة الكلية لنقص أكسجة.

استقرار الفوسفات والكالسيوم:

حيث يتم تنظيم اطراحهما وعود الامتصاص الكلوي عن طريق:

هرمون جارات الدرق PTH والفيتامين د:

يعمل PTH على:

• تثبيط اطراح الكالسيوم الكلوي

• وتحريض اطراح الفوسفات

• وزيادة انتاج مستقبلات الفيتامين د الفعالة.

Vitamin D3 يصنع في الكلية ويعمل على زيادة مستوى الكالسيوم في الدم عن طريق:

• زيادة امتصاصه من الأمعاء

• تقليل اطراحه الكلوي

تركيب البول:

حجم البول اليومي حوالي 1500 مل، تتغير حسب: كمية الماء المتناول والغذاء والحرارة الخارجية والجهد

والتعرق كما تتغير في الحالات المرضية.

- يتكون البول من الماء ومن عناصر منحلّة عضوية ولاعضوية
  - تتناسب كثافته النوعية عكساً مع حجمه
  - تتراوح pH البول بين 4.7-8 حسب حالة العضوية وطبيعة الغذاء المتناول.
  - من المواد اللاعضوية التي يحويها البول: شوارد الصوديوم والكلور والبوتاسيوم والفوسفور والكبريت.
  - من المواد العضوية البولة التي تزداد عند زيادة تناول البروتينات، الكرياتينين، أصبغة ونواتج استقلاب الهرمونات وكميات بسيطة من الحموض الأمينية.
  - لا يحوي البول الطبيعي سكر، ويمكن أن يحوي كميات ضئيلة من البروتينات.
  - يوجد في البول الطبيعي 2-3 كريات بيض في الساحة المجهرية و 1-2 كريات حمراء.
- إفراغ البول: يتجمع البول في المثانة التي تستطيع أن تستوعب 700 مل، يبدأ الإحساس بالرغبة بالتبول عندما يجتمع في المثانة 350 مل.
- تتنبه مستقبلات التمدد في جدارها وترسل السيالات الحسية نحو مركز التبول الانعكاسي في القطع النخاعية العجزية ليعود عبر الألياف اللاودية التي تؤدي لتقلص المثانة وارتخاء المصرة الداخلية، يوجد مصرة أخرى خارجية إرادية تخضع لمراقبة قشرية.

#### البولة والكرياتينين:

تركيز البولة في الدم 20-40 ملغ/100 مل

- تزداد مع زيادة تقويض البروتينات، وبنقص قدرة الكلية على طرحها
  - تزداد في النزوف الهضمية والحروق (نتيجة التجفاف).
- الكرياتينين: 0.5-1.2 ملغ/100 مل ويعكس قدرة التصفية الكلوية
- ارتفاعه مع البولة يشير إلى قصور كلوي.
- من المهم تقدير تصفية الكرياتينين لتقدير حجم الإصابة الكلوية وتحديد جرعة الدواء أو الأدوية المسموح إعطائها.

## تصفية المصورة Plasma Clearance

تعبر عن قدرة الكلية على تنظيف المصورة من مختلف المواد الموجودة فيها،

كمية المصورة التي تصفيها الكلية من مادة ما في الدقيقة

تصفية المصورة من مادة ما (مل/د) = الجريان البولي (مل/د) × تركيز المادة في البول/تركيزها في المصورة.

تصفية الإينولين:

- الإينولين هو بولي سكاريد يرتشح ولا يعاد امتصاصه ولا يفرز
- ولذلك تصفية الإينولين تعادل معدل الرشح الكبيبي وهي بحدود 125 مل/د.