

فيزيولوجيا الجهاز البولي

Urinary system physiology

د. ماجد موسى

المرحلة الأخيرة من الاستقلاب



طرح نواتج الأيض الهدمي Dissimilation

حيث تطرح الخلايا نواتج نشاطها الحيوي التي لا يمكن الاستفادة منها

طرحها من الجسم شرط أساسي للحياة

عدم طرحها يؤدي للتسمم الغذائي وموت الحيوان

▶ تطرح الخلايا نواتج الاستقلاب النهائي والبيني في السائل الخلالي

▶ أما الأجهزة الإطراحية المتخصصة للحيوان: 1- تبعد وتفرغ النواتج النهائية للاستقلاب
2- وتحبس النواتج الوسطية له.

▶ **المفرغات Excreta:**

1- مواد متنوعة ذات طابع غازي في محاليل أو على شكل صلب كثيف.

2- المواد المتشكلة أثناء تخرب الخلايا الميتة والخلائط الدائمة والعابرة للمواد الغذائية التي لا تملك أي أهمية فيزيولوجية.

▶ **أعضاء الإطراح عند الثدييات:** الكلى - الغدد العرقية - الرئتين - الأمعاء. يقوم أيضاً بالوظائف الإفراغية: أعضاء الإفراز كالغدد اللعابية والكبد وغيرها.

الكلى ووظائفها

Kidney

- ▶ الكلَى هي الأعضاء الرئيسية للإطراح، فهي تشكل وتطرح البول، وبهذا فهي تقصي من الجسم الماء ونواتج الاستقلاب المنحلة فيه كاليوريا، حمض البوليك Uric Acid الأمونيا والكرياتينين وغيرها.
- ▶ يطرح مع البول الفائض من الماء والأملاح والمواد الغريبة الداخلة إلى الجسم (كالمواد الدوائية والأصبغة وغيرها)، وبهذا فهي تقوم بتنظيم استقلاب الماء والأملاح وتحافظ على الثبات النسبي للضغط التناضحي للدم (الضغط الإسموزي)
- ▶ الرئتان من أعضاء الإطراح لطرحها بخار الماء وغاز CO₂ وبعض المواد الطيارة كأبخرة الإيتر والكلوروفورم أثناء التخدير، وأبخرة المشروبات الروحية.
- ▶ الجلد أيضاً يطرح الماء وبعض الأملاح
- ▶ الأمعاء تطرح مع الفضلات بعض المعادن الثقيلة ونواتج تحول أصبغة الصفراء.

وظائف الكلى:

- ▶ إنتاج و طرح البول.
- ▶ المحافظة على الثبات الذاتي للبيئة الداخلية للجسم (الاستتباب الداخلي Homeostasis): من خلال السيطرة على تركيب الدم وحجمه وإقصاء العديد من المواد الضارة والسامة والعقاقير التي تدخل الجسم.
- ▶ تخلص الجسم من الفائض من الماء ونواتج الاستقلاب المتشكلة في الجسم الضارة وغير اللازمة كالإوريك، حمض البوليك Uric Acid والأمونيا والكرياتينين وغيرها.
- ▶ المحافظة على التركيب الكيميائي للمصورة الدموية بطرح الزائد من المواد كالغلوكوز الزائد عن السوية الطبيعية للجسم وطرحه مع البول.
- ▶ إعادة العديد من المواد المهمة للجسم التي ترشح من الدم كالغلوكوز وكلوريد الصوديوم والبوتاسيوم والفوسفور وغيرها.
- ▶ المحافظة على PH الدم (التوازن بين الحموضة والقلوية) عن طريق طرح الأحماض والمواد الحامضية والكبريت والفوسفات مع البول.
- ▶ المحافظة على الضغط التناضحي للدم والأنسجة.
- ▶ إفراز بعض المواد الكيميائية الضرورية للجسم: 1- كإنزيم الرينين Renin الذي يؤثر على مستوى ضغط الدم. 2- إفراز مكون الحمر Erthropoietic factor وهو العامل المحفز لإنتاج الكريات الحمر.
- ▶ المشاركة في تنشيط فيتامين د بعد تعرض الجلد لأشعة الشمس.

معامل التصفية

لتحديد درجة نقاوة الدم تستخدم وحدة كليرنس Coefficient clearance (أو معامل التصفية)

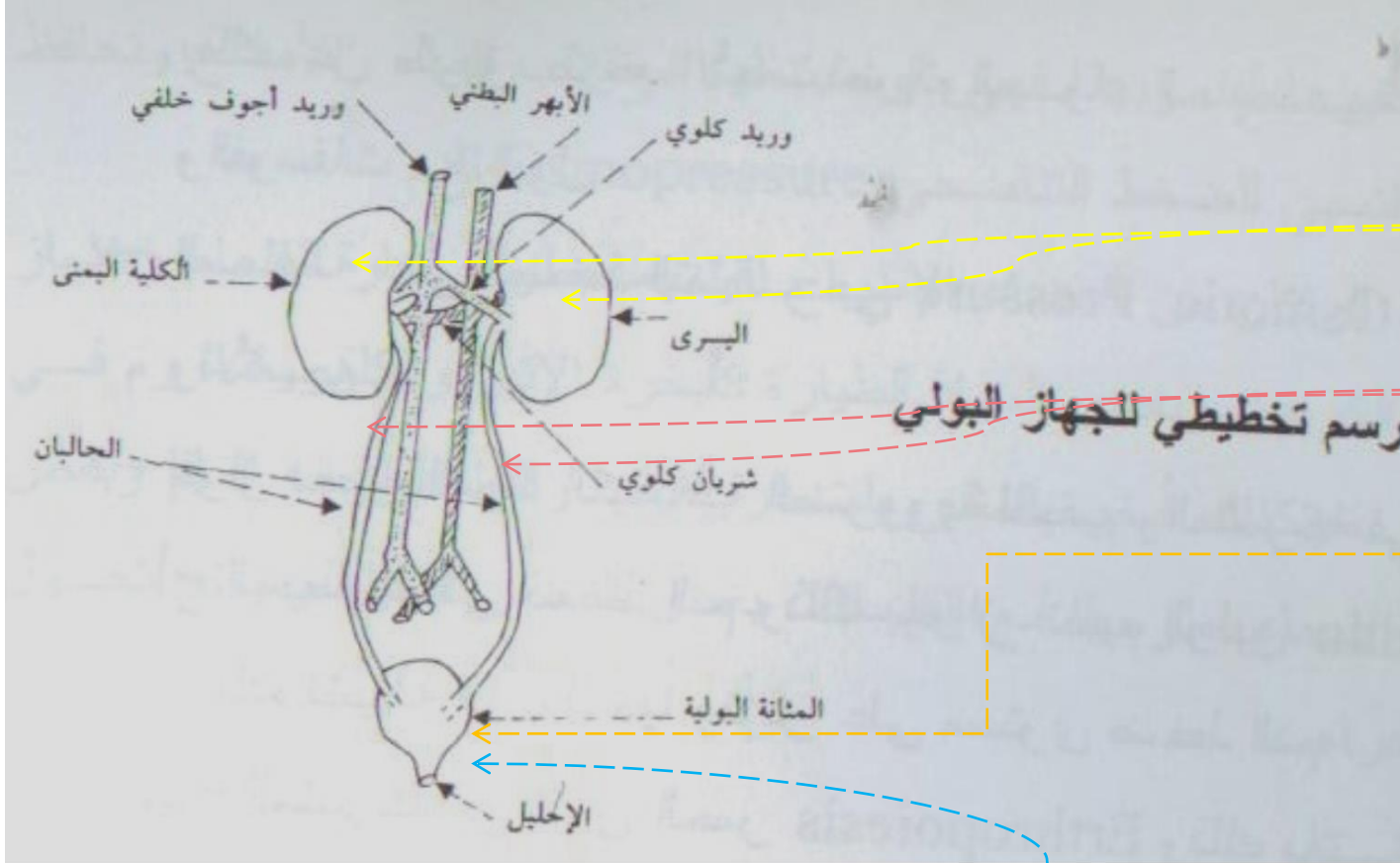
معامل التصفية: حجم المصورة الدموية (بالمليتر) الذي يُنقى بشكل كامل من أية مادة خلال دقيقة واحدة

يحدد معامل التصفية بالمعادلة التالية:

$$\text{معامل التصفية (مل/د)} = \frac{\text{كثافة المادة في البول (مغ \%)} \times \text{حجم البول (مل/د)}}{\text{كثافة المادة في المصورة الدموية (مغ \%)}}$$

التشريح الفيزيولوجي للجهاز البولي:

يتألف الجهاز البولي من:



4- المبال الذي ينتهي بالقضيب عند الذكور والمهبل عند الإناث

التشريح الفيزيولوجي للكلى:

صغيرة جداً, تشبه حبة الفاصولياء (الإنسان, الأغنام, الماعز, الكلاب, القطط)

مفصصة: الأبقار

مخروطية الشكل: الخيول

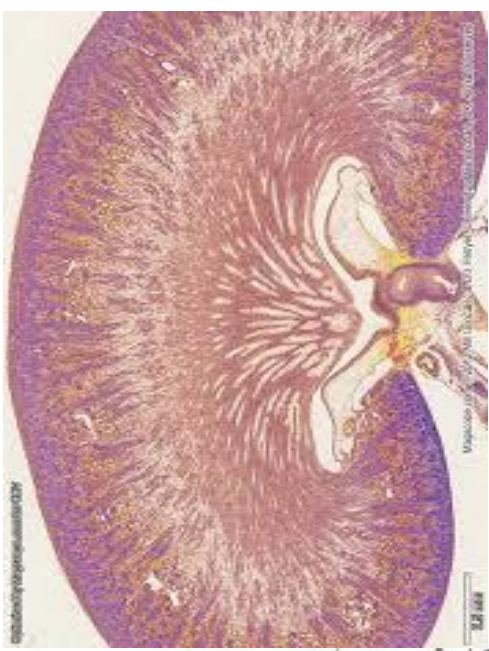
- تقع الكلى في المنطقة القطنية من التجويف البطني على جانبي العمود الفقري
- عادة تكون الكلية اليمنى متأخرة عن اليسرى بسبب كبر حجم الكبد
- أما عند المجترات فإن الكلية اليسرى أقرب إلى خط الوسط وإلى الخلف قليلاً نتيجة لدفع الكرش لها إلى اليمين وتكون متدلّية ومنخفضة عن اليمنى وخلفها قليلاً.

تحاط الكلية بـ 3 طبقات من الأغشية وهي من الداخل إلى الخارج:

1- المحفظة الكلوية **Renal Capsule**: غشاء ليفي رقيق شفاف يحيط بالكلية ملتصق بقشرتها الخارجية, يمكن إزالته بسهولة. تحوي هذه المحفظة عند بعض الحيوانات على طبقة عضلية ملساء متميزة كما في الأغنام والماعز.

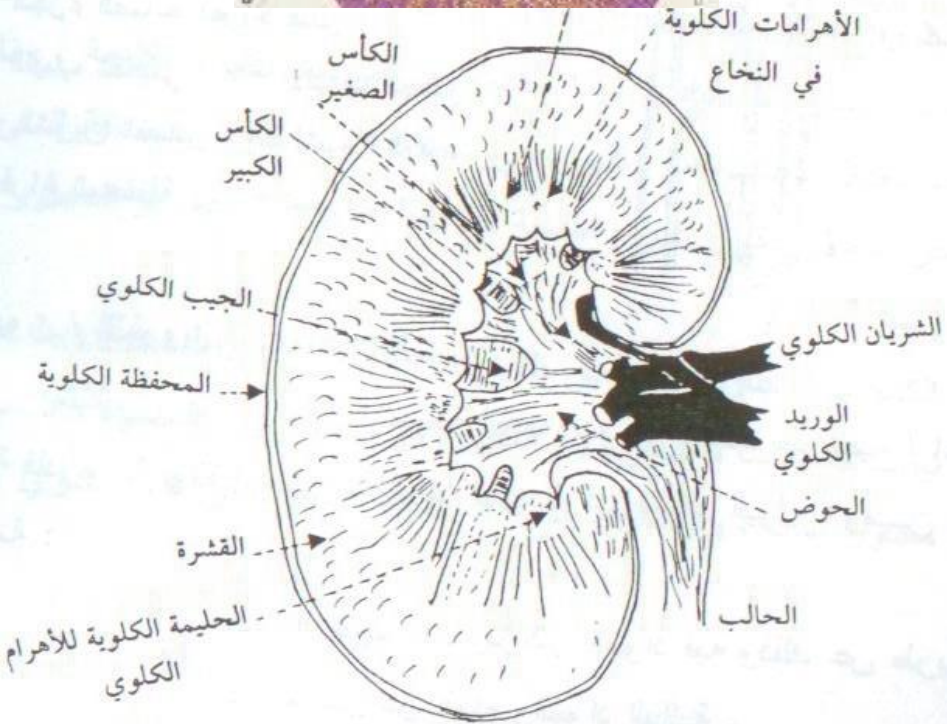
2- المحفظة الدهنية **Adipose Capsule**: وهي طبقة أو وسادة شحمية تحيط بالكلية تحميها من الصدمات وتحفظها في الوضع الطبيعي لها.

3- اللفافة الكلوية **Renal Fascia**: طبقة من النسيج الضام تغلف الكلية ووسادتها الدهنية و تثبت الكلية إلى الأنسجة المحيطة بواسطة أفرع ترسلها.

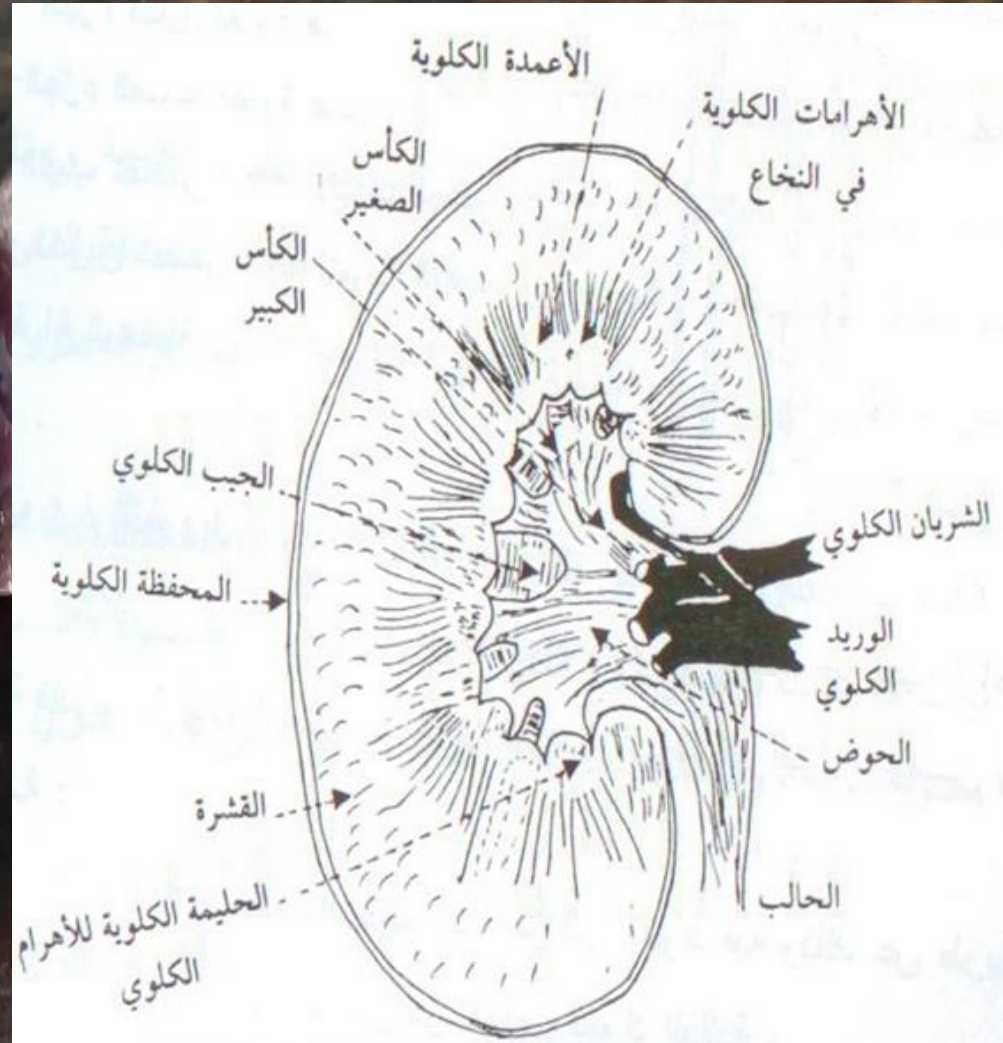


يبين المقطع الطولي للكلى أنها تنقسم لـ 3 مناطق مختلفة:

1- **القشرة:** هي المنطقة الخارجية ذات اللون الأحمر الداكن لاحتوائها على كبير من الأوعية الدموية، وتحتوي على كبير من الكليونات (أو جسيمات مالبيكي)، والنبيبات الملتفة الدانية والقاصية.

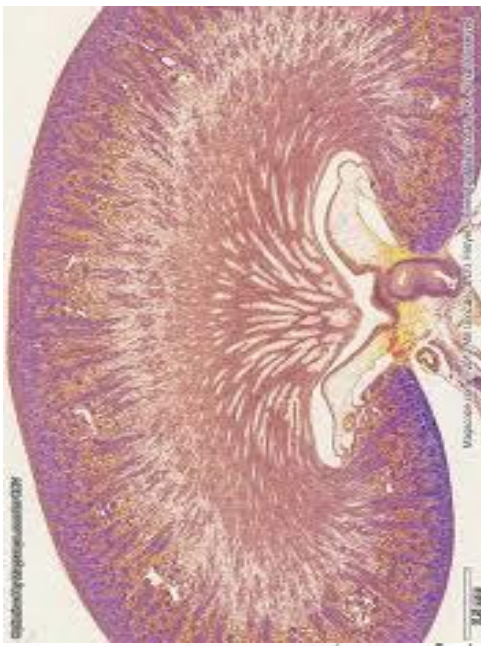


رسم تخطيطي لمقطع طولي في الكلى

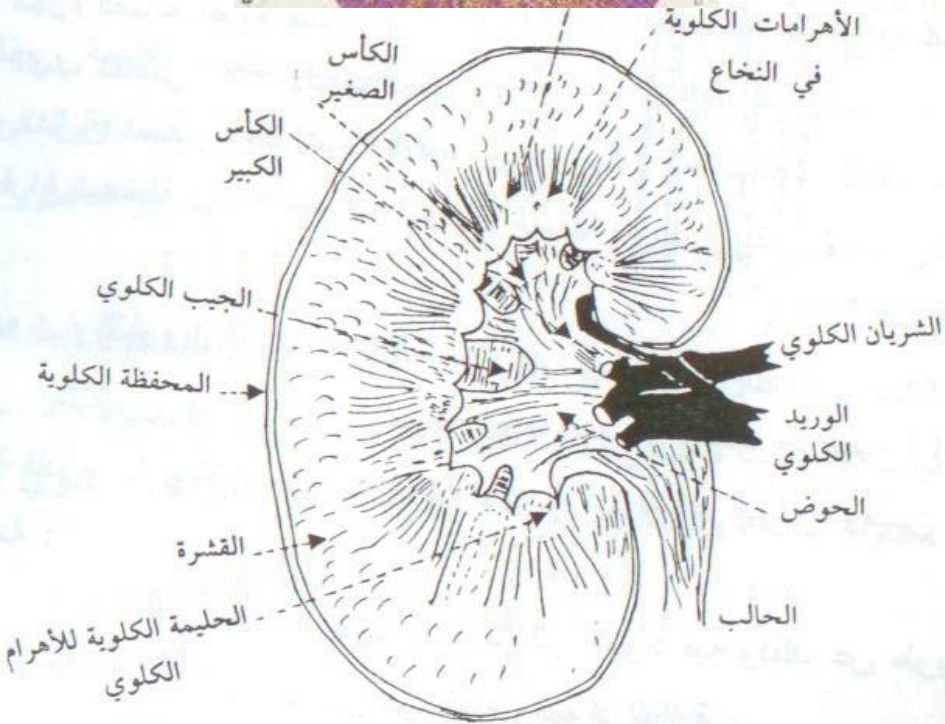


رسم تخطيطي لمقطع طولي في الكلية

2- تحت القشرة: هي منطقة داكنة ضيقة تفصل بين القشرة واللب.



3- اللب: هي المنطقة الداخلية المقسمة إلى الأهرامات الكلوية التي تتجه قواعدها نحو القشرة وذروتها نحو الكؤيسات الكلوية Major colyx التي تصب في الحوض الكلوي Renal Palvis.



رسم تخطيطي لمقطع طولي في الكلية

يوجد بين منطقتي تحت القشرة واللب أجزاء من عروة هائلة والقنوات الجامعة والقنوات الحليمية .

الوحدات الوظيفية للكلية هي
العدد الهائل من الكليونات
(النفرونات) (كليون -

Nephron): وهو الوحدة

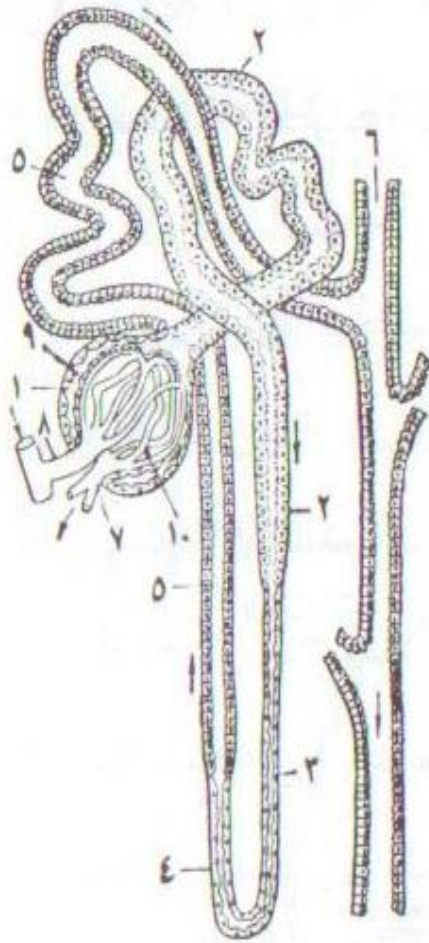
الوظيفية للكلية، وهي وحدة
إطراحية (إخراجية) دقيقة قادرة
على القيام بكل العمليات المؤدية
لتشكل البول.

ومن وظائفه المهمة:

1- التحكم بحجم الدم وتركيز
المواد فيه عن طريق طرح
الفائض من الماء والمواد
الذائبة.

2- المشاركة في تنظيم ضغط
الدم.

3- إزالة المواد الضارة وغير
الضرورية من الدم.



١- محفظة بومان وبداخلها الكبيبة

٢- النبيب الداني

٣- الجزء النازل لعروة هنلي

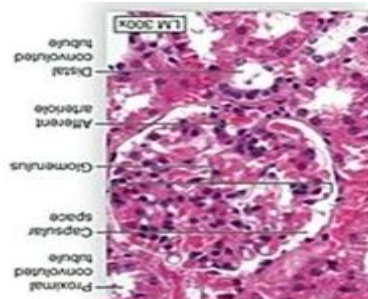
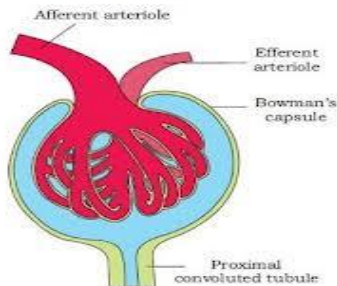
٤- الجزء الصاعد لعروة هنلي

٥- النبيب القاصي ، ٦- الأنبوب الجامع

٧- الشرين الصادر ، ٨- الشرين الوارد

٩- فراغ المحفظة ، ١٠- شعيرات الكبيبة

بنية النفرون / الكليون / Nephron

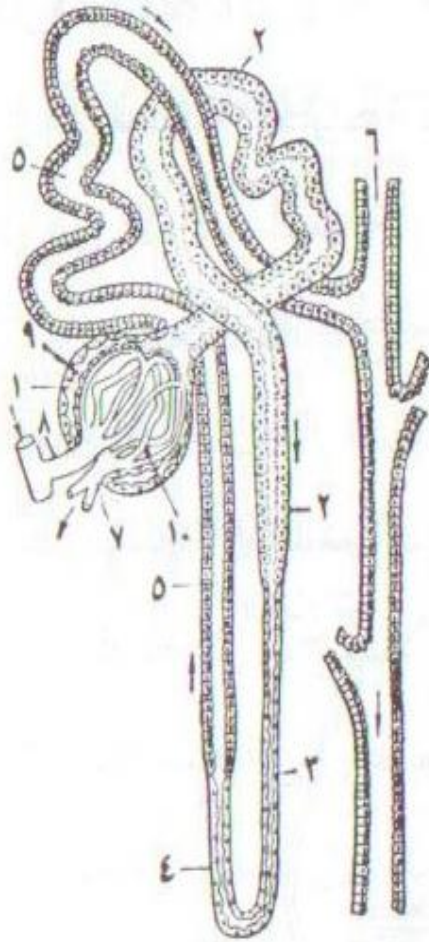


يشمل الكليون أو النفرون: النيبب الكلوي وأوعيته الدموية

كل كليون مؤلف من: محفظة ثنائية الطبقات تدعى بمحفظة بومان يتوضع بداخلها كبيبة أو جسيم مالبيكي (وهو عبارة عن كتلة من الأوعية الدموية الشعرية الملتفة على نفسها بشكل كبيبة « حوالي 50 شعيرة »).

يوجد بين طبقتي محفظة بومان الجدارية والحشوية فراغ تبدأ منه لمعة النيبب البولي.

يوجد مسامات دقيقة (ثقوب) قطرها 50 - 150 نانومتر من خلالها ترشح عناصر البول.



- ١- محفظة بومان وبداخلها الكبيبة
- ٢- النيبب الداني
- ٣- الجزء النازل لعروة هنلي
- ٤- الجزء الصاعد لعروة هنلي
- ٥- النيبب القاصي ، ٦- الأنبوب الجامع
- ٧- الشرين الصادر ، ٨- الشرين الوارد
- ٩- فراغ المحفظة ، ١٠- شعيرات الكبيبة

بنية النفرون / الكليون / Nephron

عدد النفرونات (الكليونات) كبير جداً: عند الأبقار 8 ملايين في الكليتين ووسطح يقارب 39.5م²، عند الأغنام 1 مليون ووسطح يقارب 3.5م².

حسب التوضع التشريحي للنرون (الكليون) يميز:

1- الكليون أو النرون القشري Cortical

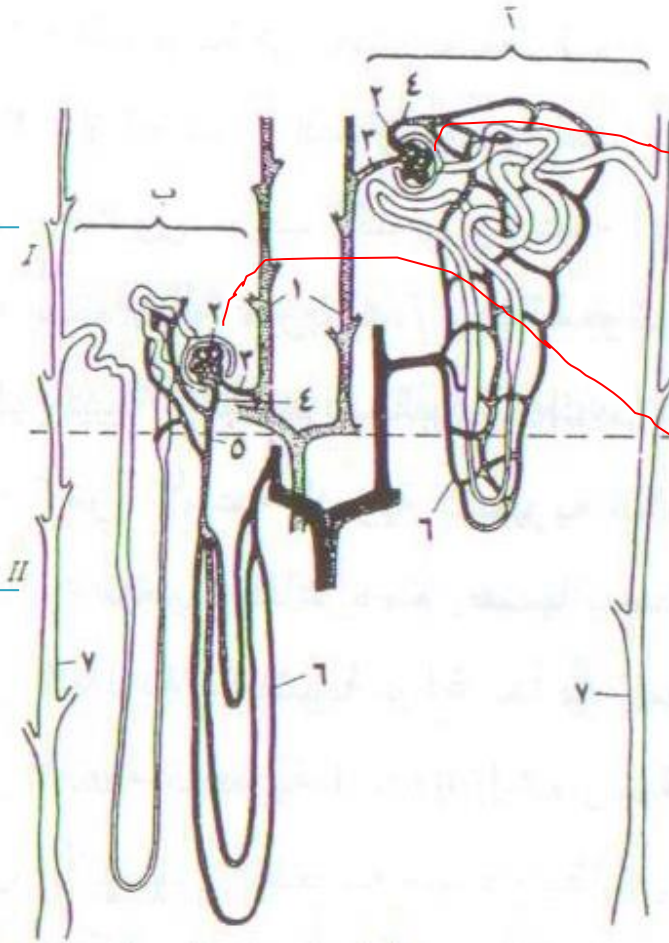
Nephron: توجد

جسيمات مالبيكي في منطقة
القشرة الكلوية, ونادراً ما
تتغلغل نبيبات هذا الكليون في
منطقة اللب الكلوي.

2- الكليون المجاور أو لصيق اللب Juxtamedullary

Nephron: توجد

جسيمات مالبيكي في منطقة
بين القشرة واللب أي مجاورة
اللب, وتتغلغل نبيبات هذا
الكليون عميقاً في اللب
الكلوي.



مخطط الكليون القشري (أ) ولصيق (ب) ومددهما الدموي

I - القشرة ، II - اللب

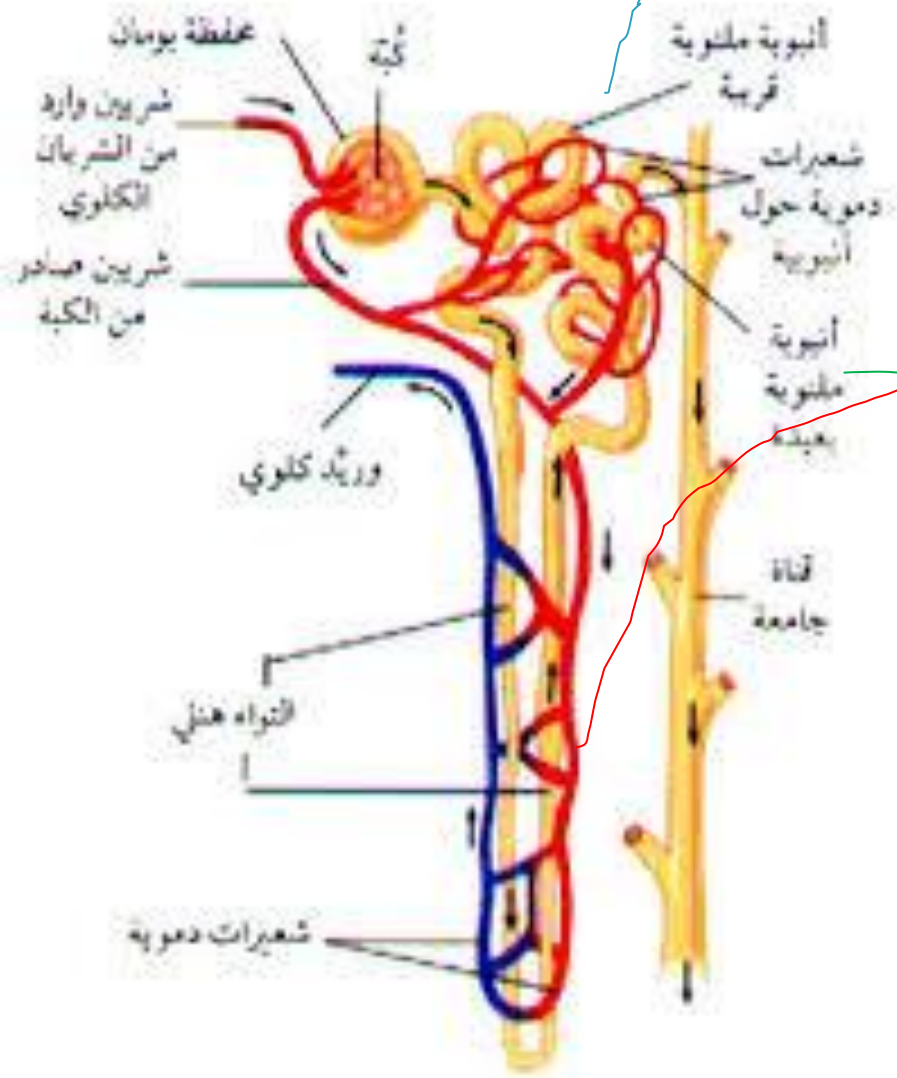
1- شرايين ، 2- كبيبة ومحفظة ، 3- شرين وارد إلى الكبيبة

4- شرين صادر عن الكبيبة / يشكل شبكة شعرية حول النبيبات الكلوية /

5- شرين صادر عن كبيبة مالبيكي للكليون لصيق اللب

6- وريادات ، 7- الأنابيب الجامعة

▶ يتكون النيبب البولي المنطلق من فرجة محفظة بومان من:



1- **النيبيب الملتوي الداني:** يميز فيه قسم ملتوي (2-3 التواءات) يقع في القشرة وعند وصوله إلى الحدود بين القشرة والللب يصبح مستقيماً وتضييق فتحته. ويشكل بداية للشعبة النازلة لعروة هنلي.

2- **عروة هنلي:** تبدأ من القسم المستقيم للنيبيب الداني وتشكل شعبتين: نازلة: المتجهة إلى القسم اللبي، والتي تلف عائدة بالشعبة الصاعدة باتجاه الطبقة القشرية. لخلايا هذه العروة وظيفة امتصاص الماء.

3- **النيبيب الملتوي القاصي:** وفيه قسم مستقيم وهو امتداد للقسم الصاعد من عروة هنلي وهو قسم ملتوي يقع في الطبقة القشرية

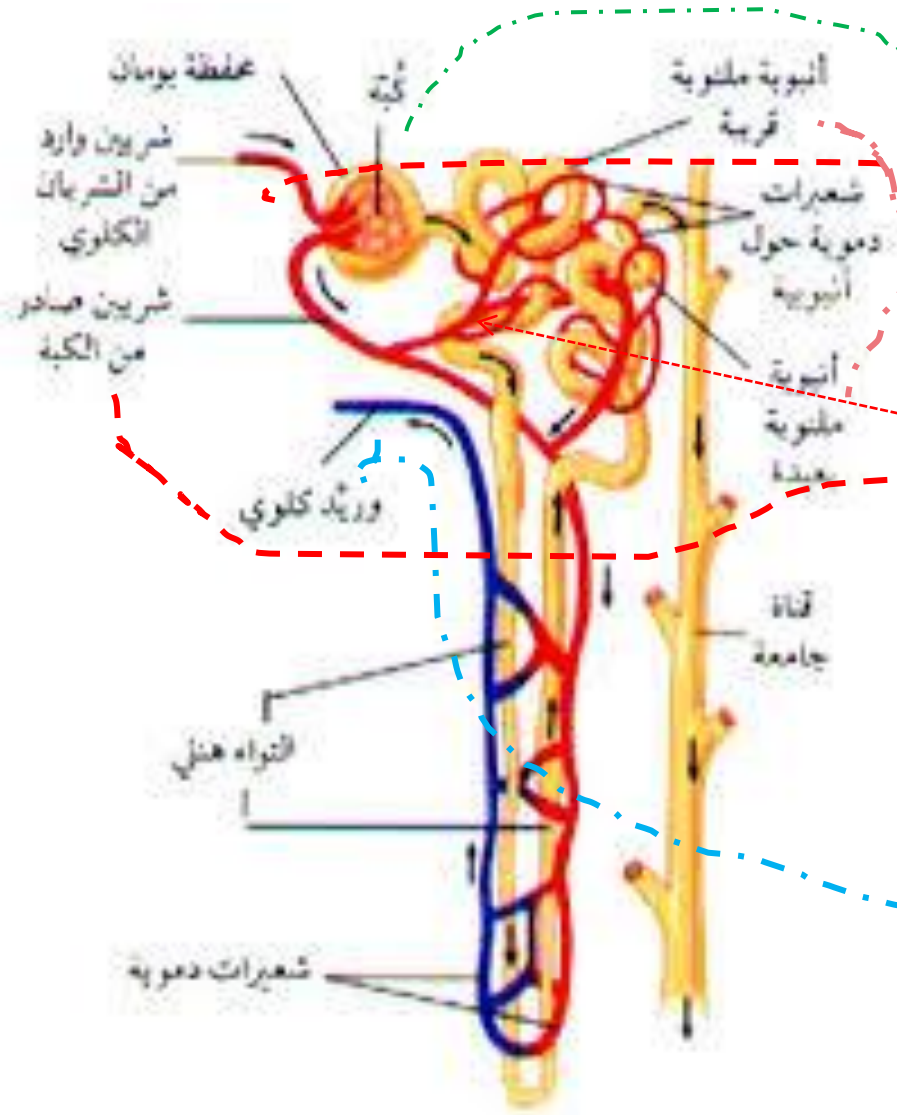
المدد الدموي للكلى

يصل الدم للكلى بالشريان الكلوي المتفرع من الأبهر بالقرب من فوهته

يتفرع هذا الشريان إلى أوعية أصغر وأصغر مشكلاً الشريانات الصغيرة التي يدخل كل منها في إحدى محافظ بومان (وهو **الشرين الوارد** للكبيبة) حيث ينقسم هناك لحوالي 50 شعيرة مشكلاً كبيبة مالبيكي، والتي تتجمع فيما بعد لتشكّل شريناً واحداً يخرج من المحفظة (**الشرين الصادر**)

يتفرع الشرين الصادر عن الكبيبة مباشرة إلى شبكة شعيرية كثيفة تحيط بالنيبيات البولية (النيبيات الملتوية الدانية والقاصية).

بعد أن يمر الدم من خلال شبكة أوعية النبيبات البولية يصب في وريادات صغيرة والتي تلتحم مع بعضها وتندمج لتشكّل وريادات أخرى ومن ثم أوردة (الأوردة المقوسة الكلوية) والتي تلتحم مشكلة الوريد الكلوي الذي يصب في الوريد الأجوف الخلفي



الحالبان

عبارة أنبوبين يوصلان البول من الكليتين إلى المثانة

يتألف جدار الحالب من 3 طبقات:

- ▶ طبقة خارجية مؤلفة من نسيج ضام.
- ▶ طبقة وسطى مؤلفة من ألياف عضلية طولية (خارجية وداخلية) ودائرية (وسطى)
- ▶ طبقة داخلية: عبارة عن غشاء مخاطي مكون من 5 - 6 طبقات ظهارية متحولة (انتقالية) فيها طيات طولية على امتداد الحالب.
- ▶ يفصل الطبقات العضلية نسيج ضام رخو حلزوني يساعد على الحركات التمعجية Peristalsis.

يخرج الحالب من حويضة الكلية عند السرة على شكل قمع يضيق تدريجياً ويهبط حتى يصل للمثانة، حيث يفتح في السطح الخلفي للمثانة بفتحة رفيعة مائلة تسمح بمرور البول من الحالب للمثانة.

يخرج البول من الكلية للحالب بفعل: 1- الحالبية، 2- الموجات التمعجية الحالبية المتجهة من الحويضة نحو المثانة بسرعة تقدر بـ 25 - 30 مم/ثا، 3- الضغط الهيدروستاتيكي (المائي السكوني).

الأعصاب المحركة للحالبين هما العصب الحشوي والحثلي.

Vesica urinaria المثانة البولية

كيس عضلي, قابل للتمدد, يتجمع فيه البول حتى وقت الإفراغ, يتوضع في التجويف الحوضي عندما يكون فارغاً,

وعند امتلائه بالبول يتمدد فوق حافة الحوض حتى يلامس جدار البطن في المنطقة الإربية
Inguinal region

يتكون جدار المثانة من 3 طبقات:

- 1- طبقة خارجية مكونة من البريتوان.
- 2- طبقة وسطى مؤلفة من عضلات ملساء طولية أو مائلة خارجية, وطولية داخلية ووسطى دائرية. تتداخل مع بعضها وتشكل شكلاً شبكياً
- ▶ هذا التداخل للعضلات في الحالب والمثانة يكون الموصل الحالبى المثاني
- ▶ Ureterovesicular junction الذي يشكل مصرة وظيفية لمنع رجوع البول.
- ▶ عدا ذلك تشكل هذه الطبقات عاصرة تغلق فوهة الاحليل تسمى بمصرة المثانة Sphincter أو المصرة الداخلية.
- 3- طبقة داخلية: وهي غشاء مخاطي يبطن المثانة مكون من ظهارة متحولة (هذه الظهارة موجودة في حوض الكلية والحالبين والاحليل)

تستطيع جدران المثانة التمدد لحد معين عندها يشعر برغبة قوية بالتبول

الإحليل: Urethra

قناة تتصل بعنق المثانة وتفتح خارج الجسم في الفوهة الاحليلية الخارجية.

- ▶ يحاط الاحليل بطبقتين من العضلات الملس: خارجية طولية وداخلية دائرية. وعلى جانبي العضلات وبطنياً توجد العضلة الاحليلية المخططة.
- ▶ الغشاء المخاطي للإحليل مبطن بظهارة متحولة بها طيات طولية
- ▶ يلي الغشاء المخاطي مباشرة الطبقة الكهفية **Stratum covernosum** أو الوعائية الحاوية على أوردة صغيرة تدعى بالأوردة الكهفية,
- ▶ يمر الاحليل عبر الحجاب البولي التناسلي, وتعمل عضلة هذا الحجاب على تشكيل المصرة الخارجية.

تشكل البول

- يتشكل البول نتيجة العمل المعقد للكلية
- يؤثر على تشكل البول عوامل مختلفة هي:
- **1- أوقات النهار:** الكمية المفرغة نهاراً أكبر منها ليلاً (نتيجة لانخفاض نشاط الاستقلاب في الجسم ليلاً وقت النوم وكذلك انخفاض الضغط العام للدم ليلاً الذي يؤدي لانخفاض الضغط في الكليتين وبالتالي قلة كمية البول المتشكلة).
- **2- كمية السوائل والأغذية المتناولة الغضة أو الغنية بالمواد البروتينية:** نواتج تفكك البروتينات (اليوريا وحمض البولييك وغيرها) تعد محرضات لنشاط الكلية
- **3- فصول السنة والطقس:** الحرارة المرتفعة للوسط الخارجي تقلل تشكل وإدرار البول, أما المنخفضة فعلى العكس تزيد من تشكله وإفراغه, لذلك تزداد كمية البول المفرغة شتاءً وتقل صيفاً.
- **4- العمل الفيزيائي:** يقلل العمل العضلي الطويل من كمية البول المتشكلة بسبب زيادة نشاط الدوران في العضلات العاملة وانخفاضه في الاعضاء الداخلية للبطن وبخاصة الكلية. إضافة لترافق العمل العضلي بالتعرق الغزير وبالتالي تأخذ الغدد العرقية على عاتقها قسطاً من عمل الكلية

- يفرغ من البول في اليوم وسطياً عند الحصان 2 - 2.5 ليتر, الأبقار: 6 - 12 ليتر, الأغنام 1 - 1.5 ليتر, عند الكلاب 0.5 - 1 ليتر.
- عند الإنسان 1 - 2 ليتر.

الخواص الفيزيوكيميائية للبول

- تتغير هذه الخواص تبعاً لتركيبة الغذاء وكمية السوائل الواردة ووضع الحيوان (راحة, عمل, جوع, شبع ... إلخ)
- **الصفات الطبيعية للبول:**

1- **الرائحة:** رائحة خاصة مميزة تختلف باختلاف الحيوانات ونوعية الغذاء.

2- **اللون:** سائل شفاف مائل للصفرة لاحتوائه على أصبغة مثل يوروكروم (صبغ البول), يوروبيلين (صفراوين البول), وبعض أصبغة الأغذية المتناولة.
لون البول تابع أيضاً لكميته وتركيزه: فعند التشكل المفرط للبول يكون **اللون أصفر فاتح**, أما عند التعرق الغزير فيكون **شديد الصفرة** (بول مركز).

3- **الكثافة أو الوزن النوعي:** تختلف باختلاف الحيوانات وكمية المواد الذائبة فيه والسوائل الداخلة للجسم. فإلّاكثر منها يخفض الكثافة وعلى العكس الإقلال منها يرفعه.
وجود البكتريا في البول أو زيادة الكريات الدموية فيه يسبب زيادة الكثافة النوعية للبول عن الحد الطبيعي.

4- **تفاعل البول (PH):** يختلف حسب الحيوان والحالة الفيزيولوجية ونوع الغذاء والحالة الصحية.
عند أكالات الاعشاب يكون قلوي (لوجود عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمنغنيز). فعند الخيول 8.7 - 7.1 أما عند الأبقار 8.7

عند أكالات اللحوم يكون حامضياً (لوجود عناصر الكبريت والفوسفور والكلور). ويساوي 5.7 - 7 أما عند الحيوانات التي تأكل النوعين وفي الإنسان فيكون بولها حامضياً أو قلوياً بين 4.6 - 8 حسب نوع الغذاء.
عند الطيور: أثناء الجوع يكون قلوي, وبعد التغذية يكون حامضي (70% من الازوت العام يطرح على شكل حمض البولييك

5- الضغط التناضحي: مرتفع ويصل لـ 23 - 30 مم زئبق, ويتعرض للتذبذب الشديد بشكل دائم نتيجة لطرح الجسم الفائض من المواد الفعالة تناضحياً عن طريق الكلى بشكل رئيسي

■ التركيب الكيميائي للبول:

عند الحيوانات الزراعية 96% ماء

4% مواد صلبة (عضوية) و (لاعضوية)

- 1- كلوريد الصوديوم.
- 2- بيكربونات الصوديوم.
- 3- كلوريد البوتاسيوم.
- 4- كبريتات الصوديوم.
- 5- فوسفات الصوديوم.
- 6- فوسفات البوتاسيوم.
- 7- فوسفات الكالسيوم.
- 8- فوسفات المغنزيوم.

- 1- اليوريا وحمض البوليك: وهي نواتج استقلاب المواد البروتينية والقواعد الامونية البورينية. تشكل اليوريا 90% من أزوت البول.
- 2- الكرياتينين: وهي من الفضلات أساساً
- 3- حمض الهيبيوريك: من الاغذية النباتية.
- 4- نواتج تفسخ البروتينات التي أزيل ضررها بالكبد (أندول, فينول, سكاتول, كريزول).
- 5- الاجسام الكيتونية: التي تزداد أثناء الجوع ومرض داء السكري.
- 6- الاصبغة: يوروكروم ويوروبيلين.

الجدول التالي يبين أن البول يتألف من نفس العناصر التي تتألف منها المصورة الدموية مع الاختلافات بالكمية والتركيز.

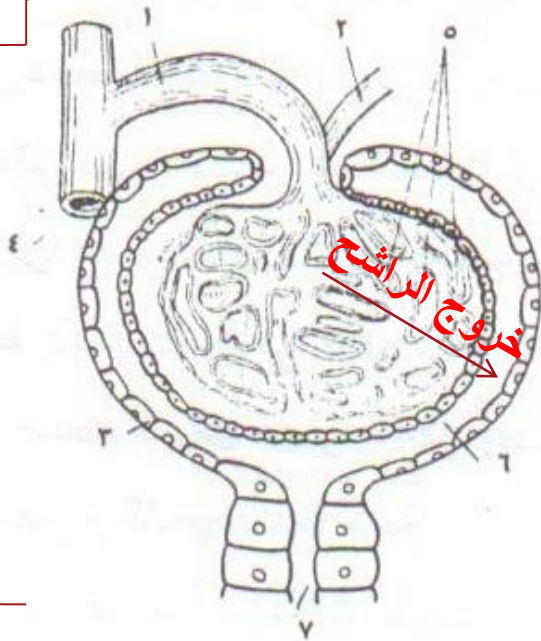
جدول يبين تركيز المواد في المصورة الدموية والبول وتركيزها فيه

المادة	في المصورة %	في البول %	كم مرة يزيد تركيز المادة في البول عنه في المصورة
الماء	٩٣ - ٩٠	٩٦ - ٩٣	نفس الكمية
البروتينات	٩ - ٧	-	-
السكر	٠,١	-	-
اليوريا	٠,٠٣	٢	٧٠
حمض البوليك	٠,٠٠٢	٠,٠٥	٢٥
Na	٠,٣٢	٠,٣٥	نفس الكمية
K	٠,٠٢	٠,١٥	٧
Mg	٠,٠٠١	٠,٠٤	٤٠
Ca	٠,٠٠٢٥	٠,٠٠٦	٢,٤
Cl	٠,٣٧	٠,٦	١,٦
PO ₄	٠,٠٠٩	٠,٢٧	٣٠
SO ₄	٠,٠٠٢	٠,١٨	٩٠

■ آلية تشكل البول:

حسب نظرية الرشح - إعادة الامتصاص, يتم تكوين البول نتيجة لحدوث 3 عمليات في الكلى (الأولى تحدث في كبيبة مالبيكي أما العمليتين الباقيتين فتحدثان في خلايا النبيبات البولية).

1- العملية الاولى: تدعى عملية الترشيح الكبيبي الدقيق **Glomerular ultra filtration**: كبيبة مالبيكي-عبارة عن مرشحة تعمل بالضغط وتملك العديد من **العوامل التكوينية** التي تساعد على الترشيح.



1- الكبيبة فيها 50 لفة شعرية تعطي مساحة كبيرة للسطح الراشح لشعيرات الكبيبة.

2- الشريان الدموي الوارد أكبر قطراً بمرتين من الصادر مما يؤدي لزيادة الضغط في شعيرات الكبيبة.

3- يجري الدم في شعيرات الكبيبة ببطء وتحت ضغط مرتفع 70 - 90 مم زئبق.

4- تتلاصق شعيرات الكبيبة مع جدار محفظة بومان المكون من طبقة واحدة من الخلايا الظهارية يفصلها عن الدم الكبيبي طبقة خلايا بطانية واحدة (انتقال المواد من الدم إلى تجويف محفظة بومان يكون سهلاً وفعالاً لرقعة الفاصل بينهما).

5- بطانة الشعيرات الدموية والطبقة الحشوية للمحفظة غشاء **نصف نفوذ** يسمح لبعض المواد والعناصر بالخروج من الدم ولا يسمح لغيرها

بنية كبيبة مالبيكي مع المحفظة

1-شرين وارد إلى الكبيبة ، 2- شرين صادر عن الكبيبة ، 3- المحفظة مع الكبيبة

4-شريان ، 5- شعيرات الكبيبة ، 6- فراغ محفظة بومان ، 7-النبيب الملتوي الداني

■ يتحكم بعملية الرشح في الكبيبة 3 عوامل هي:

1- ضغط الدم (الضغط المائي السكوني Hydrostatic pressure): هذا الضغط ناتج عن ضغط السائل الدموي على جدران الأوعية الدموية, يساعد هذا الضغط على دفع محتويات الدم لخارج الشعيرات الدموية.

في شعيرات الجسم الأخرى: ينتج عن هذا الضغط اللمف
أما في الكلى: فينتج عنه البول الأولي (وهو المصورة الدموية بما فيها من عناصر منحلة - عدا الكريات والبروتينات - التي تمر إلى محفظة بومان مشكلة البول الأولي).
يساوي في شعيرات الكبيبة 70 مم زئبق.

2- الضغط الجرمي Oncotic pressure: يعد القوة الساحبة (التي تعيد الماء) من محفظة بومان إلى الدم. حوالي 30 مم زئبق

3- الضغط المائي السكوني للبول الذي يملأ المحفظة والنيبيات: وهو معاكس لضغط الدم. قوته بسيطة 10 مم زئبق لذلك فإن الترشيح في الكبيبات ممكنة فقط عندما يكون الضغط في شعيرات الكبيبة أعلى من مجموع **الضغطين المضادين:** الجرمي للمصورة و المائي السكوني للبول في المحفظة والنيبيات.

إذاً ضغط الترشيح الفعال في الكبيبة = ضغط الدم - (الضغط الجرمي + الضغط داخل المحفظة والنيبيات)

$$= 70 - (10 + 30) = 30 \text{ مم زئبق (يحدث الرشح بسهولة دون إعاقة)}$$

وهكذا فإن كل ما يرفع من ضغط الدم في الجسم, يزيد من ترشيح البول

وكل ما يرفع من الضغط الجرمي /المضاد/ للمصورة الدموية يخفض من عملية
الترشيح

■ ألية تشكل البول:

1- العملية الأولى: عملية الترشيح الكببي الدقيق

2- العملية الثانية: عملية إعادة الامتصاص في النبيبات الكلوية: يتغير الرشح الكببي (البول الأولي) كثيراً بعد مروره من خلال النبيبات البولية, حيث يعاد امتصاص معظم مكونات المصورة الدموية التي رشحت إلى محفظة بومان ويتم إعادتها إلى الدورة الدموية (كالغلوكوز والأحماض الامينية حيث امتصاصها كاملة) والشوارد المعدنية (كالصوديوم والكلوريد) التي يعاد امتصاصها حسب حاجة الجسم لها.



ويصبح البول (البول النهائي) أغنى بنواتج الاستقلاب الأزوتي بعشرات المرات من البول الأولي

■ تتم إعادة الامتصاص بطريقتين:

1- بواسطة الانتشار **Diffusion**: تتم عندما يكون تركيز المادة التي يعاد امتصاصها في الرشاح أعلى مما هو عليه داخل النبيبات البولية.

2- بواسطة النقل الفعال **Active transport**: بهذه الطريقة تتم معظم عمليات الامتصاص, حيث يعاد امتصاص المواد الضرورية للجسم رغم أن تركيزها في راشح الكبيبات أقل من تركيزها في خلايا النبيبات البولية, حيث أن خلايا النبيبات تحتاج لصرف كمية كبيرة من الطاقة لإعادة الامتصاص.

ويبين الجدول التالي كمية الماء ومكونات البول الأولي التي يجب إعادة امتصاصها إلى الدم من النبيبات عند تكوين ليتر واحد من البول النهائي

المحتوى بالغرام				المادة
في لتر من البول	يمتص ثانية إلى الدم	في البول الأولي	في ٩٠ لتر مصورة دموية	
١	٨٢	٨٣	٨٣	الماء
-	-	-	٦٧٥٠	الغروانيات
-	٩٠	٩٠	٩٠	الغلوكوز
٣,٥	٢٦٦,٥	٢٧٠	٢٧٠	الصوديوم
٦	٣٢٧	٣٣٣	٣٣٣	الكلوريدات
٢٠	٧	٢٧	٢٧	اليوريا
٠,٥	٣,١	٣,٦	٣,٦	حمض البوريك
١,٥	١٦,٥	١٨	١٨	البوتاسيوم
٨,١	-	٨,١	٨,١	الكبريتات
١,٨	-	١,٨	١,٨	الفسفاتات

■ ألية تشكل البول:

1- العملية الاولى: عملية الترشيح الكبيبي الدقيق

2- العملية الثانية: عملية إعادة الامتصاص في النبيبات الكلوية

3- العملية الثالثة: عملية الإفراز أو التركيب أو التخليق Synthesis: إلى جانب الترشيح في الكبيبات وإعادة الامتصاص في النبيبات, تقوم خلايا النبيبات الملتوية بتخليق بعض المواد:



- ❖ فمن خواص الظهارة الكلوية إنتاج حمض بارا أمينو هيبوريك (PAH).
- ❖ يحدث في الكلى أيضاً تخليق الأمونيا بنزع الأمين عن الأحماض الأمينية.
- ❖ يتشكل في الكلى الكرياتينين.
- ❖ فيها أيضاً تنفصل الفوسفات عن المركبات الحاوية على الفوسفور

■ التنظيم العصبي لعمل الكلى وإفراغ البول:

- ❖ تتلقى الكلى المدد العصبي من الجملتين الودية (ضمن العصب الحشوي) واللاودية المتفرعة عن العصب المبهم.
- ❖ تشاهد الفروع العصبية في جدران الأوعية الدموية الكلوية وفي الخلايا الظهارية المبطننة للنيبيبات الكلوية.



فعند تنبيه فروع العصب الحشوي الصغير يلاحظ **النقص** بكمية البول المطروحة و**زيادة** كمية كلور الصوديوم.

أما تنبيه فروع العصب المبهم فيؤدي لزيادة طرح الماء مع نقص بكمية النواتج الأزوتية

■ كيف تؤثر الجملتين العصبيتين الودية واللاودية على عمل الكليتين:

1- توسيع أو تضيق أو عيتها الدموية الذي يؤثر في تغيير ضغط الدم.

2- عن طريق التأثير على عمل ونشاط الخلايا الظهارية الكلوية.

الأقسام المختلفة للجملة العصبية المركزية التي تشارك بتنظيم النشاط الكلوي

■ قشرة المخ:

ثبت تأثيرها عن طريق تكوين المنعكسات الشرطية على زيادة أو تثبيط إدرار البول.

■ الوطاء:

(الهيپوثلاموس)
التنبية المؤلم للحيوان يرافقه نقص في طرح البول، بسبب إثارة الوطاء ووصول دفعات العصبية منه إلى الفص الخلفي للنخامى المحرصة لإفراز الهرمون المضاد للإبالة الذي يخفض إدرار البول.

■ البصلة:

الوخز التجريبي لقاع البطين الرابع للبصلة (وخاصة في منطقة الحذبة للدماغ البيني) يؤدي للزيادة الكبيرة في تشكّل البول

■ كيف يشارك التنظيم الخلطي بتنظيم عمل الكليتين:

■ البولة والمواد البورينية وكلور الصوديوم والأملاح الحاوية على الأزوت الموجودة في الدم تعد منبهات نوعية للظاهرة الكلوية تؤدي لزيادة كمية البول المطروحة.

■ تؤدي زيادة تركيز الكالسيوم بالدم إلى فقدان مقدرة النبيبات على إعادة امتصاص السكر ونتيجة لذلك يظهر في البول.

■ يتغير عمل الكليتين تحت تأثير الهرمونات: فالهرمون المضاد للإبالة المفرز من النخامى الخلفية الذي يثبط إفراز البول (نقص الماء بالدم يؤدي لزيادة الضغط التناضحي نتيجة لزيادة تركيز المصورة وهذا يؤدي لتنبية المستقبلات التناضحية في الوطاء وبالتالي إفراز الهرمون المضاد للإبالة).

■ الأدرينالين المضيق للأوعية الدموية يؤدي لخفض تشكل البول وإفراغه: فإذا كانت الجرعات كبيرة ازداد تقلص الأوعية الواردة إلى الكبيبة والصادرة عنها مما يخفض الضغط الدموي في الكبيبة مما يؤدي لبطء جريان الدم في الكبيبة وتوقف عملية الترشيح وبالتالي خفض إنتاج البول.

■ إفراغ البول (التبول) (Micturition):

- تعمل الكلى باستمرار ودون توقف، حيث يتجمع البول الواصل من النبيبات في كؤيسات حوض الكلية التي تنقبض جدرانها عند امتلائها فيجري البول إلى الحوالب. وبفضل حركة الحوالب التمعجية يطرد البول بسرعة 2-3سم/ثا ويصب في المثانة.
- التبول هو عملية إفراغ البول من المثانة البولية وطرحه إلى الخارج.
- عملية إفراغ البول هي عمل انعكاسي
- توجد في منطقة خروج قناة المبال (الإحليل) من المثانة العاصرة الداخلية (وهي عضلة ملساء) وبعدها بقليل توجد العاصرة الثانية الخارجية (وهي عضلة هيكلية مخططة) هذه العاصرات تكون منقبضة مغلقة في وقت ملء المثانة بالبول وتسترخي أثناء التبول.
- تحصل المثانة والعاصرات على المدد العصبي من الجملتين **الودية** (تصدر عن المنطقة القطنية للنخاع الشوكي): يؤدي تنبيهها لاسترخاء عضلات المثانة.
- و**اللاودية** (تصدر عن المنطقة العجزية للنخاع الشوكي): يؤدي تنبيهها لانقباض عضلات جدران المثانة واسترخاء عضلات العاصرة ويفرغ البول من المثانة.

■ إفراغ البول (التبول (Micturition):

■ أثناء التبول يحدث تنبيه للنهايات الحسية في قناة المبال (الاحليل), هذا التنبيه يرسل إلى المركز لينبئ عن استمرار خروج البول. عند توقف مرور البول في قناة المبال تصدر تنبيهات أخرى من جدران المبال ترسل إلى المركز لتؤدي لإنهاء انقباض عضلات جدران المثانة واسترخائها وإلى انقباض عضلات العاصرات واسترخاء عضلات جدار البطن والحجاب الحاجز.

■ نتيجة لاختفاء المثانة عند الطيور فإن البول يصب في المذرق Cloaca الذي يطرح منه البراز أيضاً, لذلك يمكن الحصول على البول النقي فقط عن طريق ربط قناة الحالب قبل وقوعها في المذرق وإخراجها للخارج. فالبول قبل وصوله إلى المذرق يكون سائلاً, بعد ذلك يختلط مع الذرق ويتحول إلى كتلة نصف سائلة. يمكن جمع حتى 2 ليتر بول عند الإوز و 1 ليتر عند الدجاج.

انتهت المحاضرة