السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أهلاً بكم زملاءنا الأطباء ^_^ يتابع معكم فريق الكريات الحمراء بمادة الفيزيولوجيا الطبية المحاضرة الثانية من محاضرات الجهاز البولي نتمنى أن نكون عند حسن ظنكم لنبدأ..

فهرس المحاضرة

العنوان	رقم الصفحة
عود الامتصاص والإفراز في النبيبات الكلويّة	2
آليّات عود الامتصاص الأنبوبي	4
القدرات الامتصاصيّة لمختلف أجزاء الأنبوب البولي	11
الآليات الكلوية التي تسيطر على تناضحية السائل خارج الخلايا	20
Overview	32

alkamal
29120326

مقدّمة

مراجعة الرشح Filtration من المحاضرة السابقة

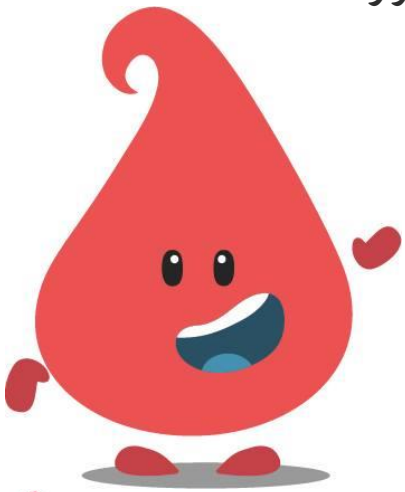
- يعدُّ الرشح عملية منفعلة، لا تحتاج إلى طاقة.
- بعد ورود الدم إلى الكلية بما يعادل حجم 1100 مل (الجزء البلازمي يعادل 650 مل) يرشح منها 125 مل "أي ما يعادل خمس الكمية الواردة".
- ترشح البلازما إلى محفظة بومان ومنها إلى الأنبوب المعوج القريب فعروة هانلي فالأنبوب البعيد ثم إلى الأنبوب الجامع فالحالب لينتهي في المثانة.

مسافة بومان ← الأنبوب القريب ← عروة هانلي ← الأنبوب البعيد ← الأنبوب الجامع ← الحالب ← المثانة

عود الامتصاص والإفراز في النبيبات الكلويّة

الإفراز Secretion

- عملية الإفراز عملية فاعلة، **تحتاج إلى صرف طاقة**.
- كما ذكرنا سابقاً، تبلغ كمية البلازما التي تصل إلى الكبة الكلوية في الدقيقة 650 مل، ويرشح منها 125 مل وتبقى كمية من البلازما دون رشح والتي تعادل تقريباً 525 مل.
- تخرج هذه الكميّة عبر الشُّرين الصادر ثم عبر شبكة الشعريات الدموية[1] (الشعريات حول النبيبية Peritubular capillaries)، وبالتالي يمكن إفراز جزء من هذه البلازما إلى الأنبوب البولي (أي لا يعاد امتصاصها).
- فعند وجود مادة دوائية يجب التخلص منها بسرعة تتنقل هذه المادة مباشرةً من الشعريّات حول النبيبات (أي من الدم) إلى الأنبوب البولي وهذه هي عملية الإفراز.
- يلعب الإفراز دوراً هاماً في تحديد كمية كل من:
  - ✓ شوارد البوتاسيوم.
  - ✓ شوارد الهيدروجين.
  - ✓ عدّة مواد أخرى تفرز مع البول.



1 التي يشكلها الشُّرين الصّادر بعد تفرعه حول الأنابيب البولية.

عود الامتصاص Reabsorption

- عود الامتصاص عملية فاعلة، **تحتاج إلى صرف طاقة**.
- يرشح 125 مل من البلازما في الدقيقة، ويُعاد امتصاص **99٪** منها أي ما يُعادِل **124 مل** تقريباً، وبالتالي يُكمِل إلى البول **1 مل فقط في كل دقيقة** من المواد المرتشحة.

مراحل عود الامتصاص:

☝ **المرحلة الأولى:**

انتشار المواد عبر **الغشاء اللمعي** لخلايا الأنبوب (أي الغشاء المطل على لمعة الأنبوب البولي) ودخولها **إلى داخل الخليّة**.

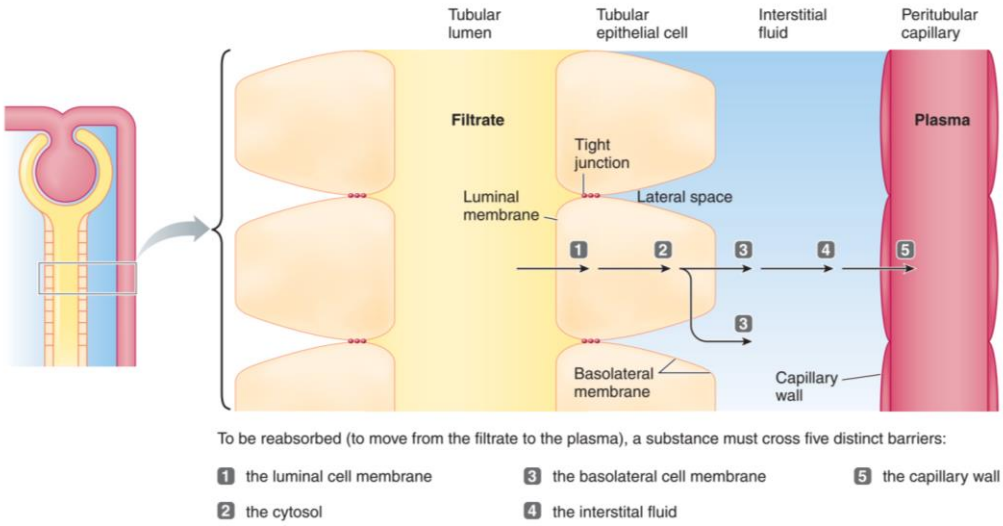
✌ **المرحلة الثانية:**

انتشار المواد عبر **الغشاء القاعدي** لخلايا الأنبوب لتنتقل إلى الخلال ومنه **إلى الدم**.

كما يوجد طريقان لعود الامتصاص:

1) الطريق بين الخلايا Paracellular Pathway.
2) الطريق عبر الخلايا Transcellular Pathway.

↩ يتمّ النّقل في الطريق بين الخلايا **بالانتشار البسيط**، أمّا النّقل عبر الخلايا فيتم **بالانتشار أو النّقل الفاعل**.



صورة ترسيمية توضّح مراحل نقل المواد من الأنبوب الكلوي للشّعريّات حول النبيبات.

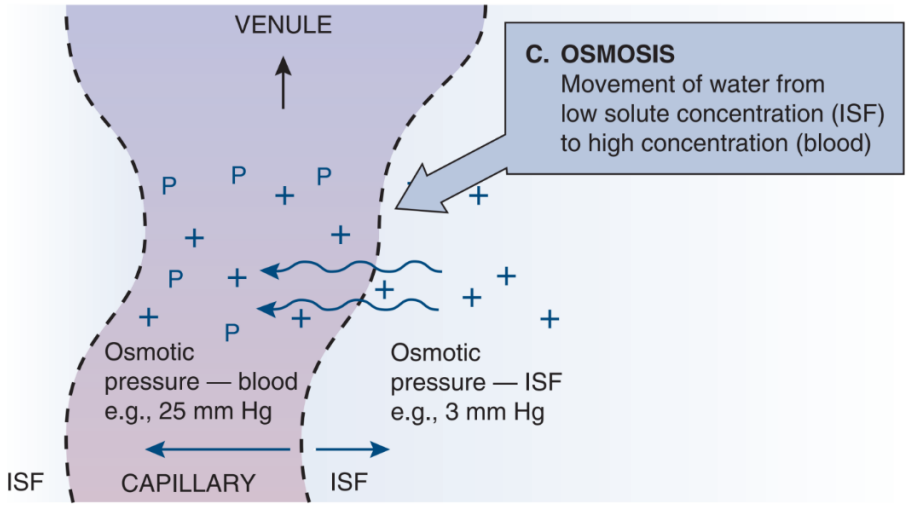
- يعد عود الامتصاص أكثر أهمية من الإفراز في تشكيل البول.
- تُنظّم العمليات الثلاث السابقة (الرشح وعود الامتصاص والإفراز) تبعاً لحاجة الجسم.

آليّات عود الامتصاص الأنبوبي

عود الامتصاص للماء

❖ يتمّ بشكل منفعل بواسطة **التّناضح Osmosis** أو ما يُسمّى التحال[2].

❖ حيث ينتقل الماء من الوسط **منخفض** التركيز بالذوائب والشوارد (كثافة مائية مرتفعة) إلى الوسط **مرتفع** التركيز بالذوائب والشوارد (كثافة مائية منخفضة)، فنلاحظ انتقاله بشكل مُنفعِل دون صرف طاقة أبداً.



عود الامتصاص للمواد المذابة

❖ يتمّ بواسطة: إمّا نقل مُنفَعِل Passive (انتشار) بدون صرف طاقة، أو فاعل Active مع صرف طاقة.

الانتشار المنفعل Passive (Diffusion)

يتمّ فيه انتقال المواد بشكل منفعل دون صرف طاقة وفق مدروج التركيز (أي من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض)، وله نوعان:

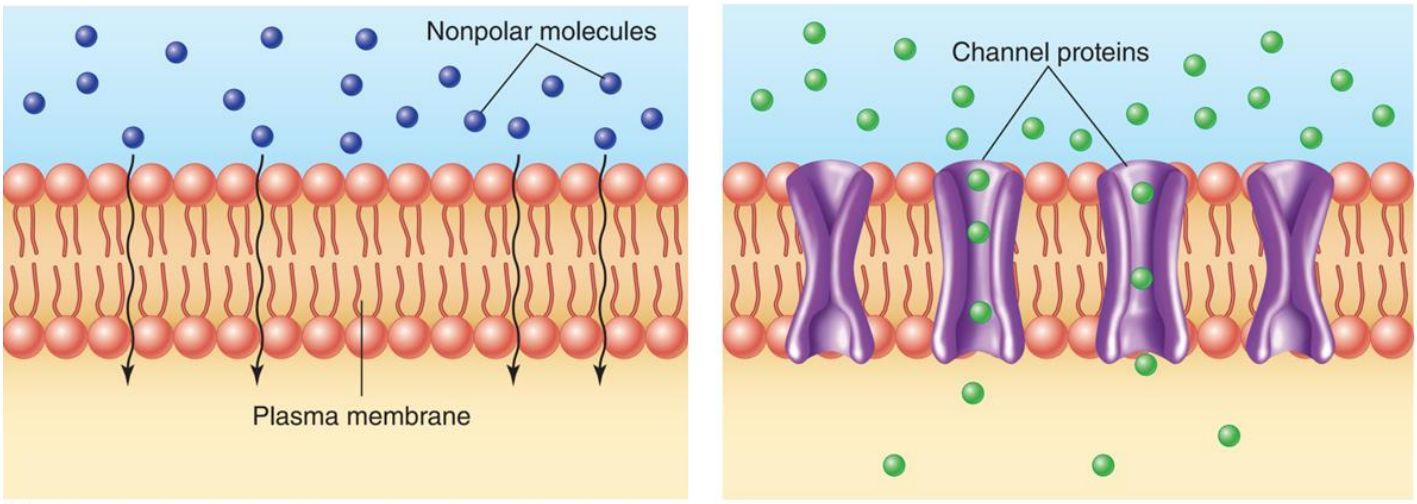
1. الانتشار البسيط Simple Diffusion:

♥ يعني أنّ الحركة الجزيئية للمواد أو الشوارد تحدث عبر فتحات الغشاء أو الأفضية بين الجزيئية **دون** الحاجة للارتباط بالبروتينات الحاملة في الغشاء.

[2] ذُكر في السلايدات أنّ الماء ينتشر بالتّناضح ويكون مرافقاً لشوارد الصّوديوم بشكل أساسي.

- يكون النقل مع مدروج التركيز من الوسط الأعلى تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً.
- تتحدّد سرعة الانتشار البسيط بالعوامل التالية:
  - كمية المادة المتوفرة على جانبي الغشاء (أي مدروج التركيز).
  - سرعة الحركة النشيطة.
  - عدد وحجم الفتحات في غشاء الخلية والتي يمكن للجزيئات أو الشوارد أن تمر عبرها.

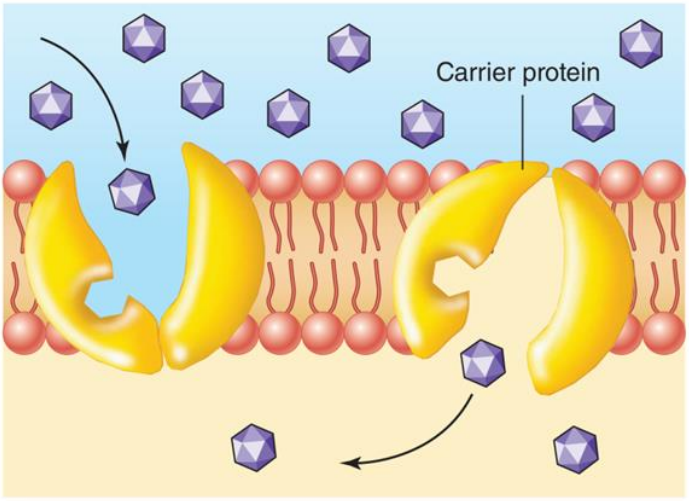
كلما كان فرق التركيز بين جانبي الغشاء أكبر يكون الانتشار أسرع، ويستمر الانتشار حتى تساوي التركيز على جانبي الغشاء.



صورة ترسيمية توضّح آليّة الانتشار البسيط:
A- الانتشار البسيط للمواد غير القطبية التي تستطيع عبور الغشاء الخلوي ذو الطبقة الفوسفوليبيدية المضاعفة.
B- الانتشار البسيط للشوارد وجزيئات الماء عبر قنوات بروتين عابرة للغشاء (الماء ينتقل بالتّناضح وهو شكل من أشكال الانتشار البسيط).

2. الانتشار المُيسّر Facilitated Diffusion:

- يدعى أيضاً **الانتشار الذي يتوسّطه حامل Carrier mediated diffusion**، فعلى الرغم من أنّ المادة تنتقل باتجاه مدروج التركيز (من الأعلى تركيزاً إلى الأقل)، إلا أنّه بهذه الطريقة تحتاج إلى مساعدة بروتين حامل لكي تمر عبر الغشاء.
- يمتلك سرعة عظمى، بحيث تزداد سرعة الانتشار الميسر بزيادة مدروج التركيز حتى بلوغ سرعة **قصوى** وبتجاوز هذه العتبة يتوقف ازدياد السرعة.



(c)

صورة ترسيمية توضّح آلية الانتشار المُيسّر للجزيئات العضوية الصّغيرة كالغلوكوز التي تحتاج إلى بروتين حامل ترتبط به لتستطيع عبور الغشاء الخلوي.

النّقل الفاعل Active Transport

- يتم فيه النقل عكس مدروج التركيز (أي من التركيز المنخفض إلى التركيز المرتفع).
- ويُقسم إلى نمطين بحسب مصدر الطّاقة المستخدمة في عمليّة النّقل إلى:

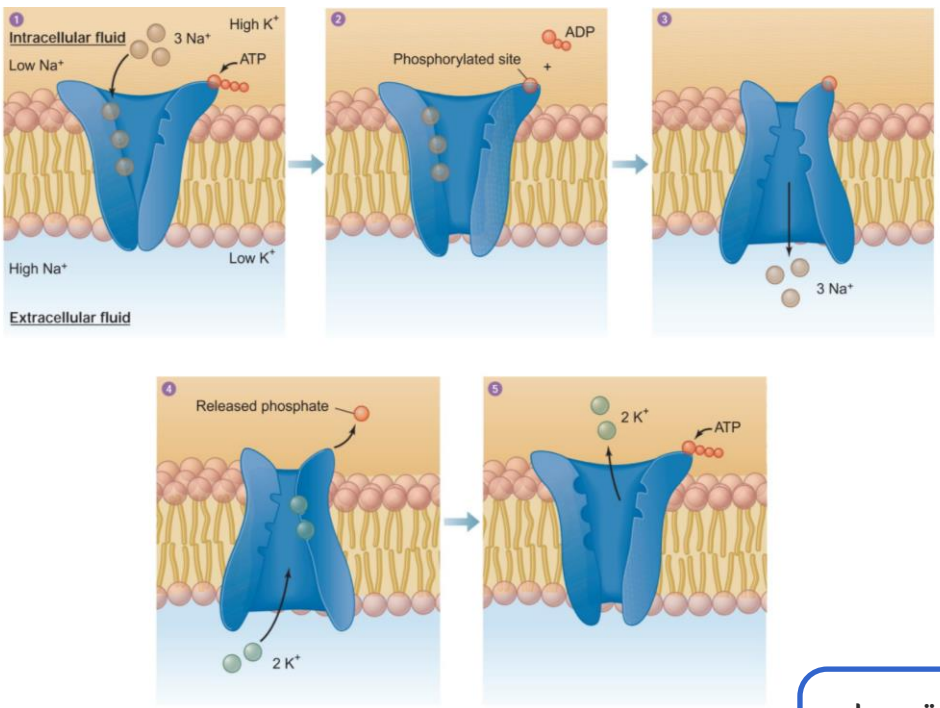
1. نقل فاعل أوّلي:

- يكون فيه النقل بعكس مدروج التركيز.
- ويتمّ الحصول على الطّاقة مباشرةً من **تحلّل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP**، أو من بعض مركّبات الفوسفات الأخرى الغنية بالطاقة.

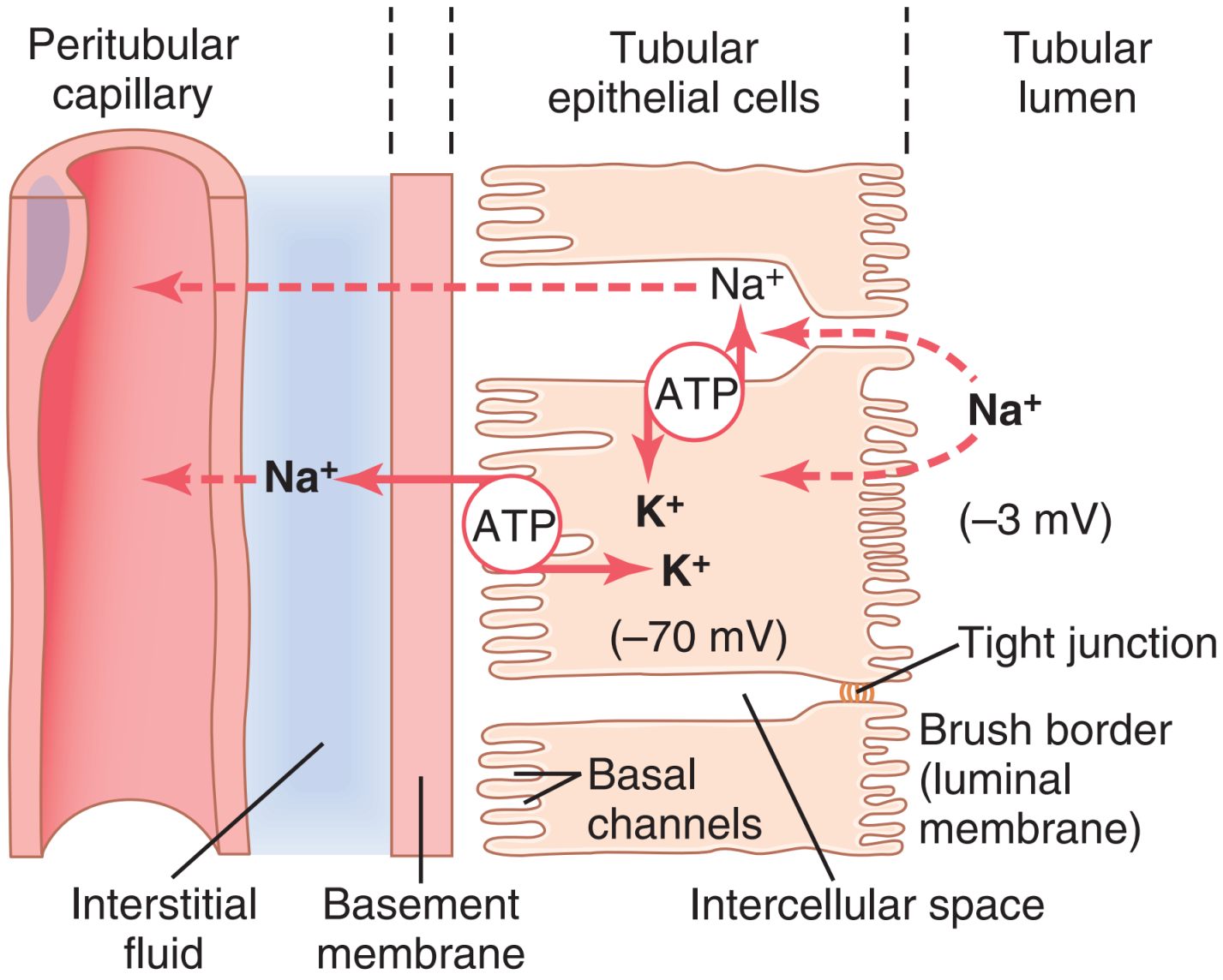
مثال عليها:

مضخّة الصوديوم والبوتاسيوم

التي توجد في الجزء القاعدي من خلايا النبيبات وتنقل ثلاث شوارد صّوديوم إلى خارج الخلية "أي إلى الأوعية حول النبيبية" وشاردتي بوتاسيوم إلى داخلها وذلك بعكس مدروج تركيزهما مع صرف ATP.



صورة ترسيمية توضّح آلية عمل مضخّة الصّوديوم والبوتاسيوم



صورة ترسيمية توضّح آلية النقل الفاعل للصوديوم عبر الخلايا الظهارية للأنبوب الداني:

a) ينتشر الصّوديوم **عبر الجانب اللمعي** من الغشاء الظهاري **باتجاه** المدروج الكيميائي والكهربائي إلى داخل الخلية الأنبوبية[3] (أي بالانتشار والنقل الفاعل الثانوي).

b) ينتقل الصّوديوم **عبر الجانب القاعدي** بوساطة مضخّة الصّوديوم بوتاسيوم **عكس** المدروج الكيميائي الكهربائي إلى السائل الخلالي.

c) يُعاد امتصاص الصّوديوم والماء وبقيّة المواد من السّائل الخلالي إلى شبكة الأوعية الشعرية حول الأنابيب البولية بوساطة Ultrafiltration[4] (عمليّة منفعلة).

3 لا يزداد تركيز الصوديوم داخل الخلية الأنبوبية بشكل كبير عند الانتشار المنفعل بسبب محافظة "مضخّة الصوديوم بوتاسيوم" الدائمة على تركيز منخفض لشوارد الصوديوم داخل الخلية.

4 عملية منفعلة تحدث تحت تأثير مدروج الضغط السكوني والضغط التناضحي الغرواني.

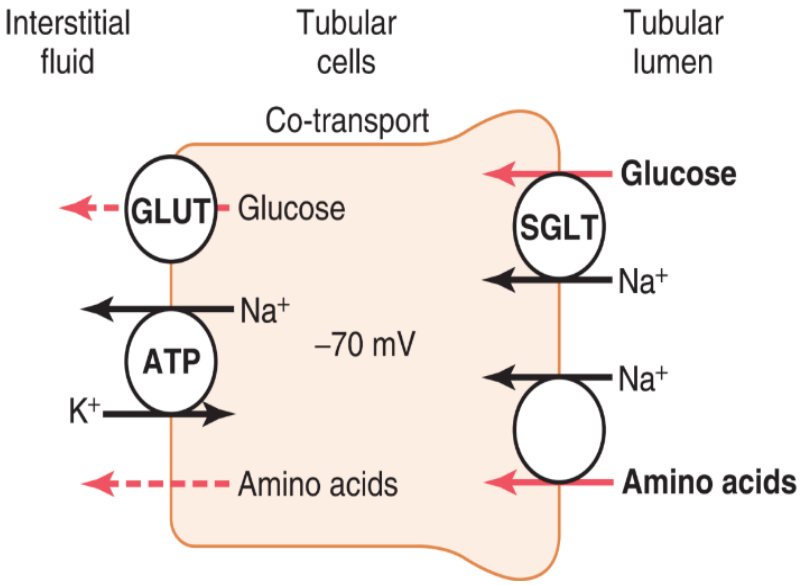
2. نقل فاعل ثانوي:

- يتمّ الحصول على الطاقة في النقل الفاعل الثانوي بشكل ثانوي (أي بشكل غير مباشر) من مدروج التركيز الشاردي على جانبي الغشاء الذي حصل بواسطة النقل الفاعل الأوّلي.
- فعلى سبيل المثال: عندما يتمّ نقل شوارد الصّوديوم إلى خارج الخلايا بوساطة النّقل الفاعل الأولي، يتطور نتيجةً لذلك مدروج كبير جداً لشوارد الصّوديوم (تركيز عالٍ جداً خارج الخلية وتركيز منخفض جداً داخلها).
- يمثّل هذا المدروج مخزناً للطاقة، وذلك لأنّ شوارد الصّوديوم الموجودة خارج غشاء الخلية تحاول الانتشار نحو الداخل.
- وبذلك فإنّنا نستفيد من مدروج تركيز الصّوديوم لإدخال مادة أخرى (أو إخراجها) أو لإدخال الصّوديوم نفسه إلى داخل الخلايا.

يوجد آليتان للنقل الفاعل الثانوي هما النّقل المرافق والنّقل المعاكس:

النّقل المرافق Co-Transport:

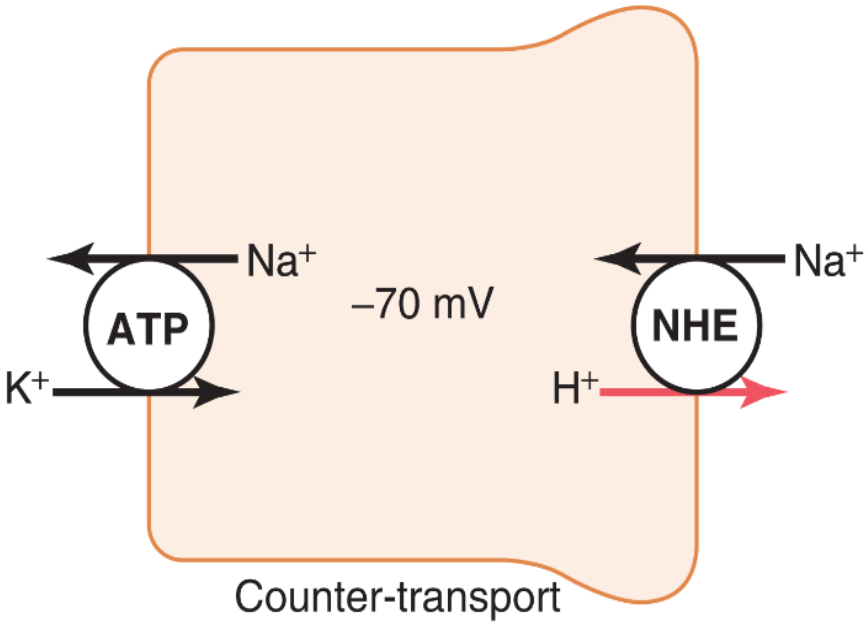
- آليّة **تزاوج Coupling** بين مادّتين (ممكن أن تكون ثلاث مواد).
- حيث يقوم بهذه الآلية بروتين حامل موجود في غشاء الخلية يعمل كنقطة ربط لكل من شاردة الصوديوم والمادة التي ستنتقل معها.
- وعندما يرتبطان معاً يحصل **تبدّل شكلي** في البروتين الحامل، ويؤدي مدروج الطاقة الناجم من شاردة الصوديوم إلى نقل شاردة الصوديوم والمادة الاخرى معاً نحو داخل الخلية.
- من المواد التي يتم نقلها بهذه الطريقة: **الغلوكوز والحموض الأمينية**.



صورة توضّح آلية النقل المرافق لكل من الغلوكوز والحموض الأمينية اعتماداً على مدروج تركيز الصّوديوم.
SGLT: Sodium-Glucose Transporter.
GULT: Glucose Transporter.

النّقل المعاكس Counter-Transport:

- تحاول شوارد الصّوديوم أن تنتشر إلى داخل الخلية لكن المادة التي ستنتقل هذه المرة توجد داخل الخلية ويتوجب نقلها إلى الخارج.
- لذلك ترتبط شاردة الصوديوم بالبروتين الحامل الذي يبرز من خلال السطح الخارجي للغشاء، **بينما** ترتبط المادة التي سيتم نقلها بشكل معاكس إلى البروز الداخلي للبروتين الحامل.
- ثم يحدث في الحال تبدل شكلي، وتؤدي الطّاقة الناتجة عن تحرُّك شاردة الصوديوم نحو الداخل إلى نقل المادة الأخرى نحو الخارج.
- من أهم المواد التي تُنقل بهذه الطريقة:
  - ✓ **النقل المعاكس للصوديوم – الكالسيوم:** الذي يحدث في كافة أغشية الخلايا تقريباً.
  - ✓ **النقل المعاكس للصوديوم – الهيدروجين:** الذي يحدث في النّبيبات الدانية، حيث يتم إفراز فاعل لشوارد الهيدروجين بهذه الطريقة إلى لمعة الأنبوب البولي.

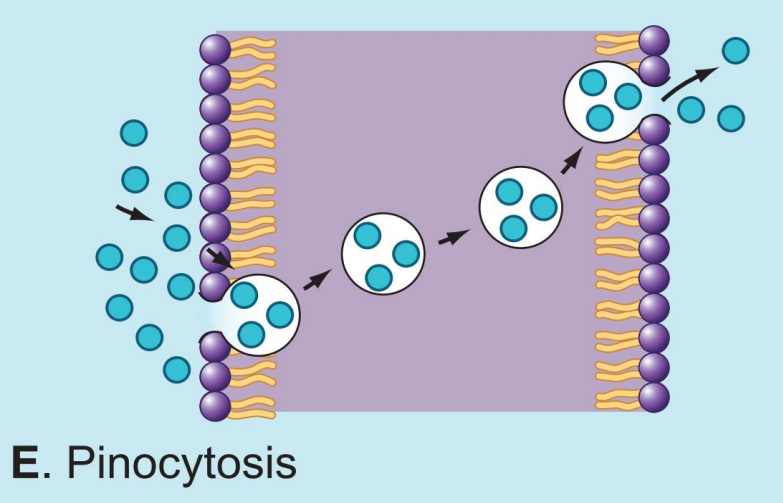


صورة تبيّن آليّة النّقل المعاكس لشوارد الهيدروجين اعتماداً على مدروج تركيز الصّوديوم.
NHE: Sodium-Hydrogen-Exchanger.
ATP: Adenosine-Triphosphate.

عمليات النقل الفاعل تكون من النمط الفاعل الأولي في الجانب القاعدي (الدموي) من خلايا الأنابيب، ومن النمط الفاعل الثانوي في الجانب القمي (اللمعي) من خلايا الأنابيب.

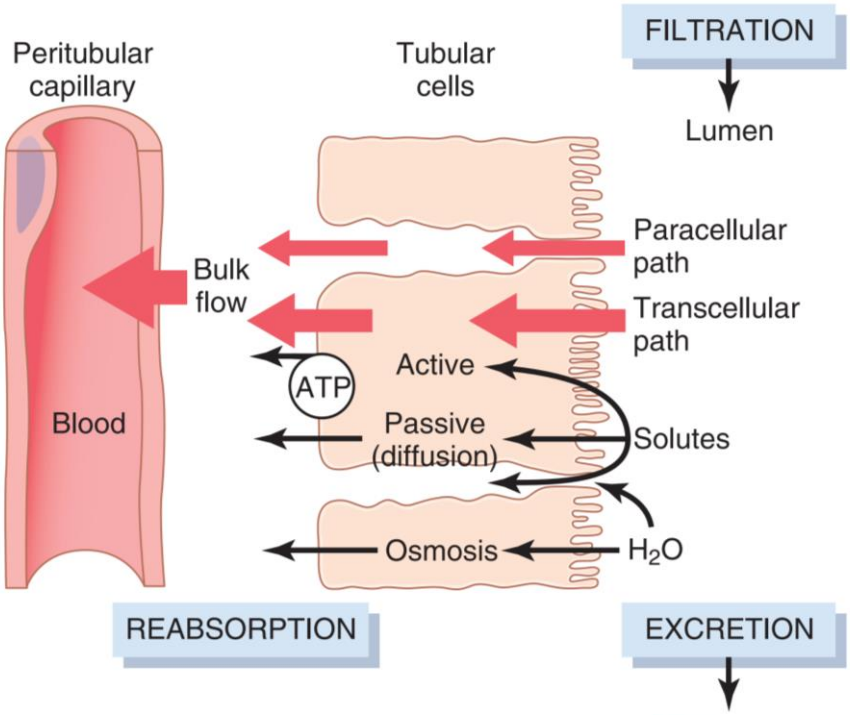
ملاحظات هامّة:

- إنّ المضخّة التي تستطيع من خلالها شوارد الصوديوم الانتشار إلى داخل الخلية تُصرَف عليها طاقة لكي تعمل (وهذا شكل من أشكال استخدام الطّاقة بشكل غير مباشر في النقل الفاعل الثانوي).
- فعند استخدام مادّة لتخريب هذه المضخّة فإن شوارد الصوديوم تنتشر إلى داخل الخلايا حتى يصبح تركيزها خارج الخلايا مساوياً لداخلها فيتوقف انتشارها تماماً وبالتّالي يختفي تأثير مدروج التّركيز المُستفاد منه في النّقل الفاعل الثّانوي.
- توجد بالإضافة إلى ذلك طرق يمكن اعتبارها من النقل الفاعل **كالاحتساء** Pinocytosis الذي يحدث لبعض البروتينات في الأنبوب الداني.



صورة ترسيميّة توضّح آلية الاحتساء

صورة ترسيميّة تُلخّص كل الآليات السّابقة



القدرات الامتصاصيّة لمختلف أجزاء الأنبوب البولي

الأنبوب الدّاني (الأنبوب المعوج القريب) "Proximal convoluted Tubule "PCT

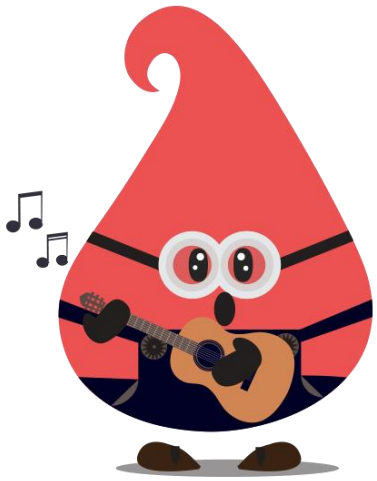
❖ من ميزاته وجود الحافّة الفرشاتية Brush Border ممّا يمنحه قدرات امتصاصية عالية وخاصّةً عود الامتصاص الفاعل.

❖ تعيد الأنابيب الدانية **امتصاص** حوالي 65٪ من السّائل الرّاشح [5]، فيتم امتصاص الصوديوم والكلور والبيكربونات والبوتاسيوم وبشكل أساسي كل الغلوكوز والحموض الأمينية الراشحة.

❖ حيث يحدث عود امتصاص فاعل لكلٍّ من شوارد الصوديوم والكلور والبيكربونات والبوتاسيوم والغلوكوز والحموض الأمينية على الشكل التالي:

- **يتم في الجزء الأول من هذا الأنبوب:** عود امتصاص مرافق للصوديوم مع الغلوكوز والحموض الأمينية.
- **أمّا في الجزء الثاني:** يحدث عود امتصاص مرافق للكلور مع البيكربونات.

❖ إنّ النسبة 65% من عود امتصاص المواد المذابة تعبّر عن نسبة عود امتصاص المواد من كميّتها الكُليّة في الرُّشاحة (من محفظة بومان وحتى وصولها إلى النبيب داني) ولا تعبّر عن نسبة عود الامتصاص في مكان محدد من الأنابيب الكلوية (النبيب الداني هنا)، كما إن لكل مادة نسبة معينة فعلى سبيل المثال يُعاد امتصاص 65% من شوارد الصّوديوم، وأقل من ذلك بقليل (نحو 60%) من شوارد الكلور، ولا يُعاد امتصاص الكرياتينين أبداً 0% فهو يُرشح فقط.



5 يعاد امتصاص 65٪ مهما كانت كمية السائل الرشاحي. أي إذا رشح 100 مل يعاد امتصاص 65 مل وإذا رشح 200 مل يعاد امتصاص 130 مل.

مقارنة عود امتصاص المواد مع الماء:

امتصاص الشوارد:

- تتساوى نسبة عود امتصاص الشوارد (الصوديوم والكلور) مع الماء، حيث إن عود امتصاص الشوارد يجعل الضغط التناضحي في الأنبوب البولي منخفض مما يؤدي إلى عود امتصاص للماء بالتناضح، وبالنتيجة يحدث لدينا توازن.
- إنّ هذا التوازن في عود الامتصاص يُجعل الضّغط التناضحي في نهاية النبيب الملفف الداني مساوياً للضغط التناضحي "Isosmotic" في البلازما الدموية (300 ميلي أوزمو)[6].

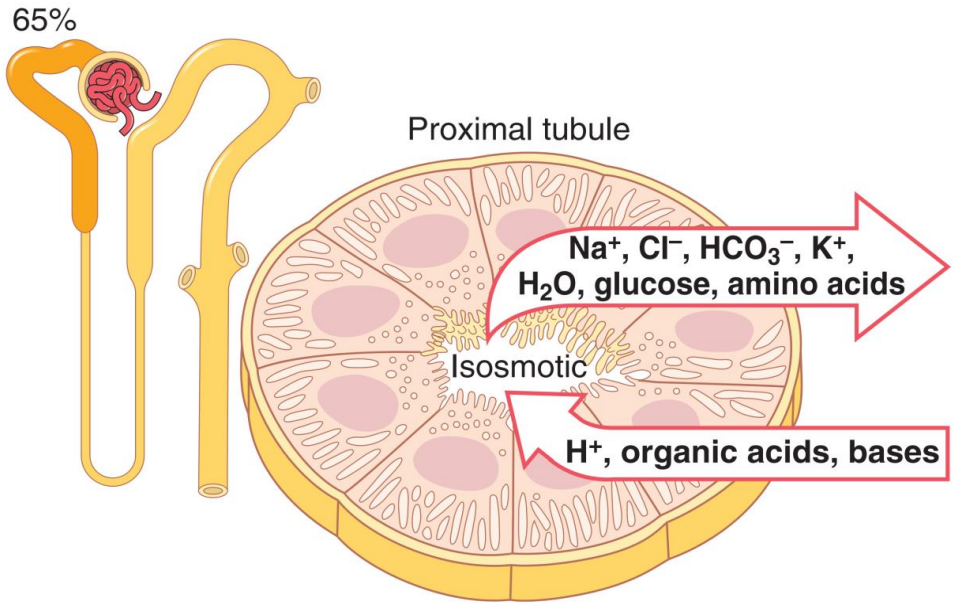
امتصاص اليوريا والكرياتينين:

- تكون نسبة عود امتصاص اليوريا والكرياتينين أقل من نسبة عود امتصاص الماء.

امتصاص البيكربونات والغلوكوز:

- تكون نسبة عود امتصاص البيكربونات والغلوكوز والحموض الأمينية أكبر من نسبة عود امتصاص الماء، مما يؤدي إلى انخفاض تركيزها في اللمعة.

▪ ملاحظة:
تقوم الأنابيب الدانية أيضاً بإفراز بعض الحموض العضوية وشوارد الهيدروجين ومواد أخرى إلى لمعة الأنبوب.



صورة توضّح المواد التي تفرز والتي يعاد امتصاصها في النبيب الملفف الداني.

6 أي يعاد امتصاص الشوارد والمواد المختلفة بنفس نسبة امتصاص الماء بحيث يبقى الضغط التناضحي متساوي.

عروة هانلي Loop Of Henle

تلي النبيب الملفّف الداني، وتتألف من:

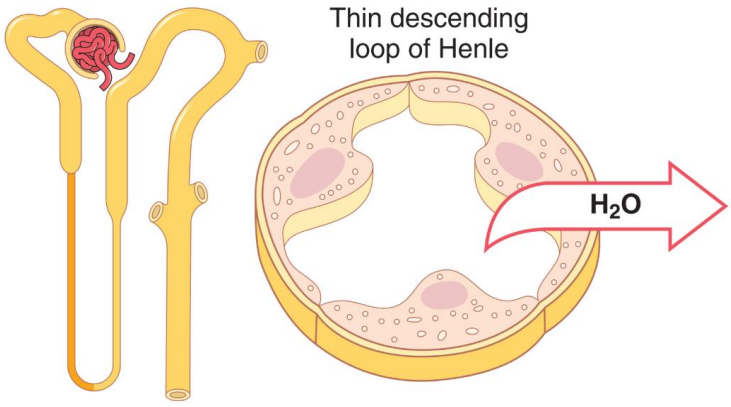
- جزء نازل رقيق.
- وجزء صاعد يتألف من جزئين: رقيق وثخين.

الجزء النازل Descending Loop Of Henle

⁂ يكون هذا الجزء نفوذ بشدّة للماء وبشكل معتدل (متوسط) للذوائب "كالبولة وشوارد الصّوديوم" ولكن حسب مدروج تركيزها، إذ إنّ وظيفة هذا الجزء بشكل أساسي الانتشار البسيط للمواد عبر الجدار **ولا يحدث فيه أيّ امتصاص أو إفراز فاعل** للذوائب.

⁂ يحدث فيه **عود امتصاص لـ 20% من الماء** عن طريق التناضح Osmosis.

⁂ يُمكن أن تتحرّك البولة Urea في هذا الجزء حسب مدروج تركيزها من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض.



الجزء الصّاعد Ascending Loop Of Henle

يكون الأنبوب الصّاعد بجزأيه الثخين والرقيق **كتيم تماماً للماء والبولة**[7] ومنه يكون **الضغط التناضحي منخفض Hypo-osmotic**، وتختلف القدرات الامتصاصية للجزء الرقيق عن الثخين كما يلي:

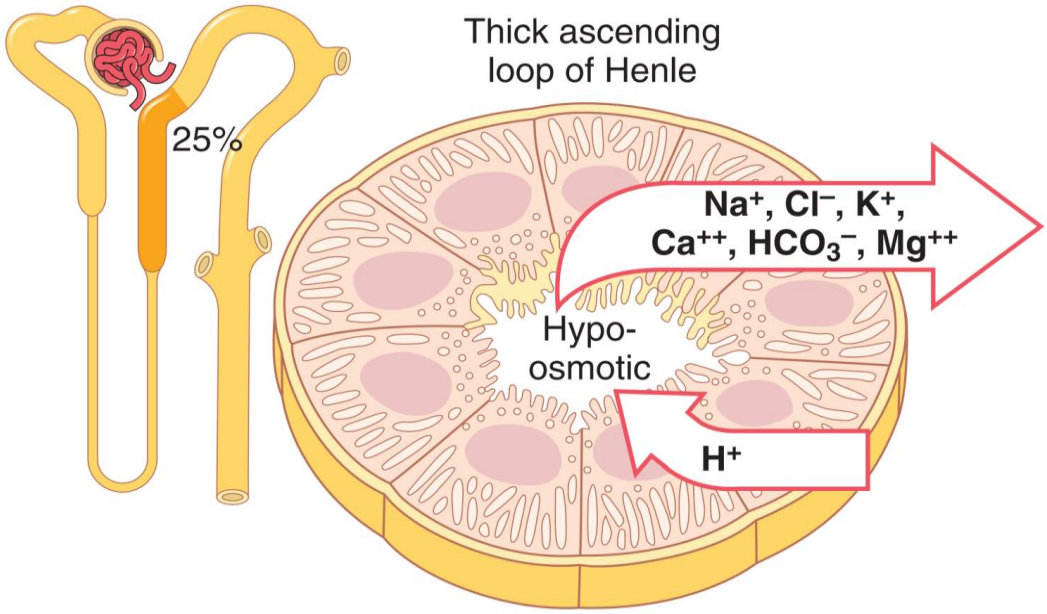
1. الجزء الرّقيق من الجزء الصّاعد *Thin Ascending Loop Of Henle*:

- يماثل الجزء النّازل باستثناء أنّه غير نفوذ للماء والبولة، أمّا المواد الأخرى فيسمح بنفوذها **تبعاً لمدروج تركيزها**.

7 الكتومية للماء هي شيء مؤكد، أمّا لليوريا فهي شيء مشكوك فيه وإن كان نفوذ فنفوذيته قليلة جداً.

2. الجزء الثخين من الجزء الصّاعد Thick Ascending Loop Of Henle:

- له قدرات امتصاصية عالية، حيث يحدث فيه **عود امتصاص فاعل بآلية النقل المرافق**[8] **وبالانتشار بين الخلوي** لشوارد الصوديوم والكلور والبوتاسيوم والكالسيوم والبيكربونات والمغنيزيوم بنسبة [9] 25% من السائل الرشاحة.
- يكون الضغط التناضحي للسائل داخل الجزء الثخين من الجزء الصاعد لعروة هانلي منخفض الضغط التناضحي Hyposmotic مقارنةً مع الضّغط التناضحي للبلازما ويعود ذلك لعود امتصاص الشّوارد والمحافظة على حجم الماء (بما أنه كتيم للماء).
- يحصل فيه إفراز لشوارد الهيدروجين.



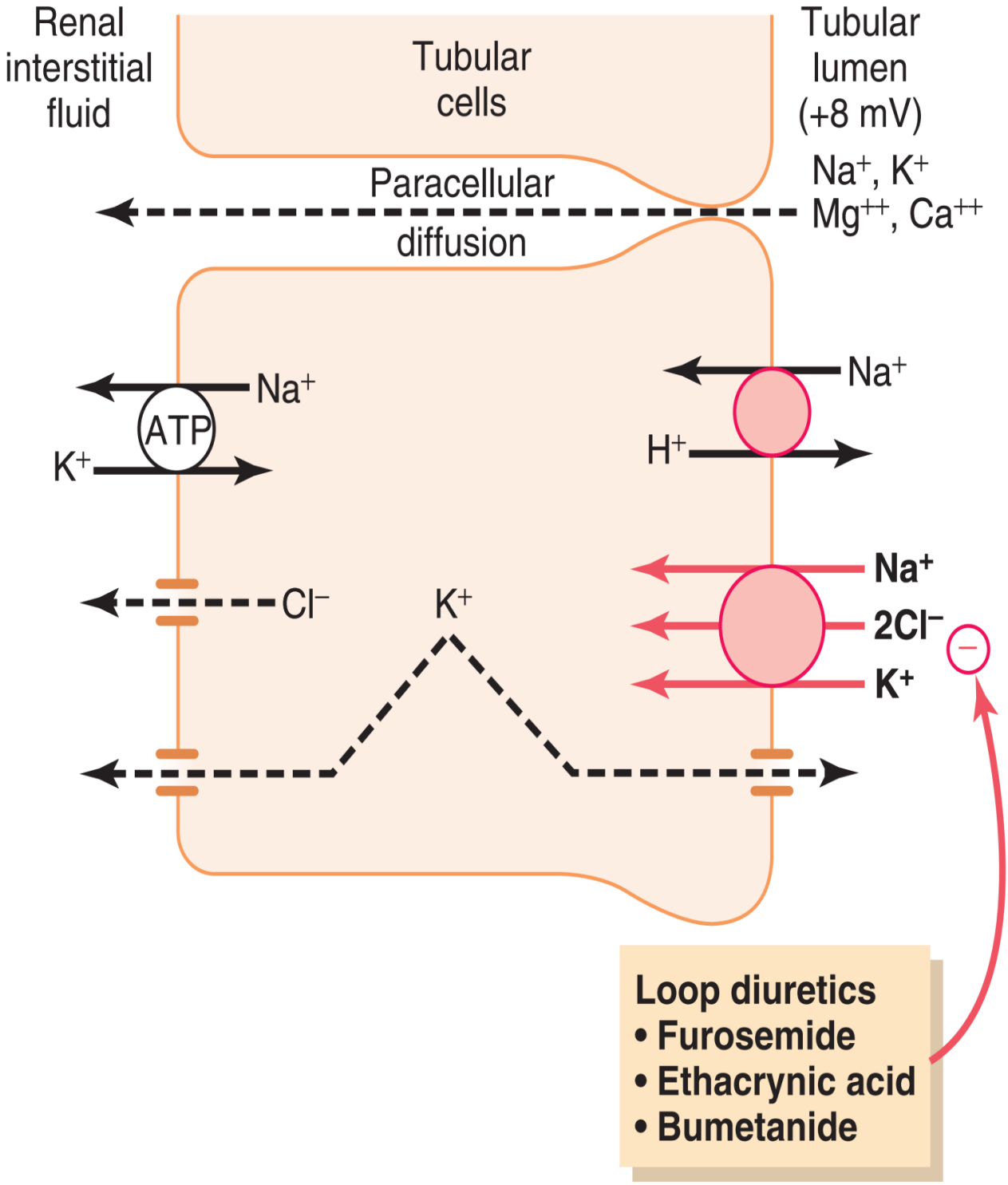
مدرّات العروة:

- مثل الفورسيمايد وحمض الإيتاكرينيك والبوميتانيد، تعمل على الجزء الثخين من القسم الصاعد للعروة.
- وهي مواد تثبّط عود الامتصاص[10] **في القطعة الثّخينة من عروة هانلي** وينتج عن ذلك طرح 25% التي يعاد امتصاصها عادةً من الصّوديوم والكلور والبوتاسيوم مع البول.

8 على حامل ينقل شاردتي كلور سالبتين، وشاردة صوديوم وشاردة بوتاسيوم موجبتان.

9 تذكّر تم عود امتصاص 65٪ سابقاً في الأنبوب الداني فأصبح لدينا حتى الآن 90٪ عود امتصاص للمواد من الرشاحة.

10 تثبط الحامل الذي ينقل شارديتي كلور وشاردة صوديوم وشاردة كالسيوم.



صورة ترسيمية توضّح تأثير مدرّات العروة على عود الامتصاص الفاعل في الجزء الثخين من الأنبوب الصّاعد لعروة هانلي لكل من شوارد الصوديوم والكلور والبوتاسيوم، حيث تدخل لداخل الخلية مع بعضها بالانتشار الميسر (تدخل شاردة صوديوم وشاردة بوتاسيوم ترافقهما شاردتي كلور وذلك لبقاء الحفاظ على التوازن الشاردي).

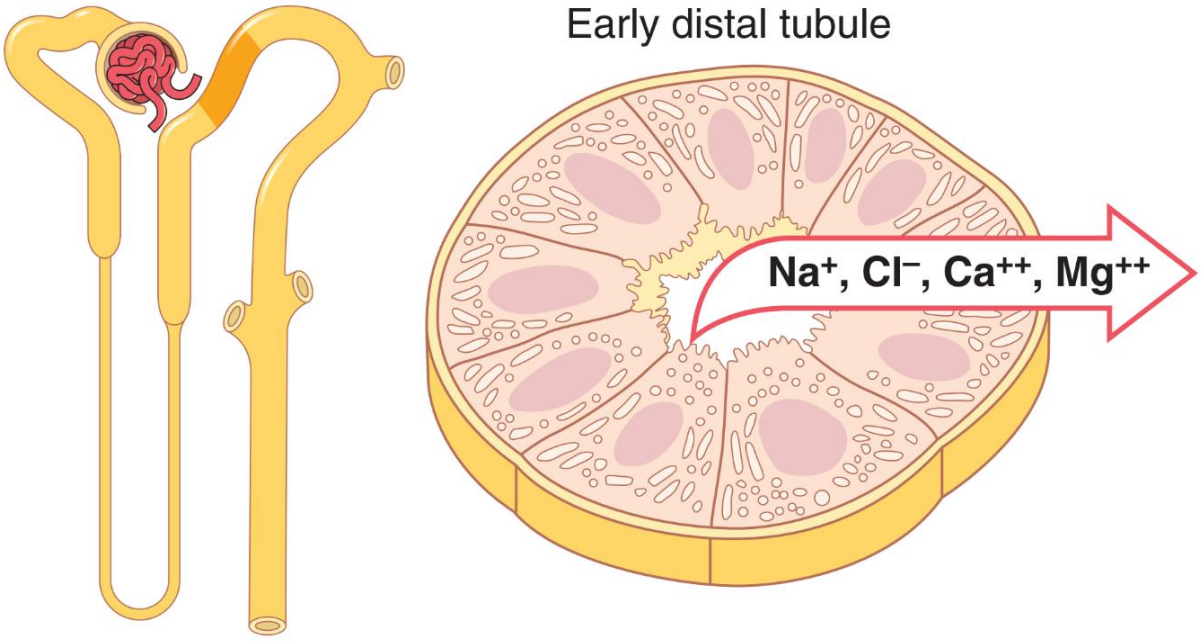
الأنبوب القاصي (الأنبوب المعوج البعيد) "Distal Convoluted Tuble "DCT
والأنبوب الجامع القشري Cortical Collecting Duct

يلي عروة هانلي ويتألف من جزأين:

- جزء قريب.
- جزء بعيد.

الجزء القريب من الأنبوب القاصي Early Distal convoluted Tubule

- تملك خلاياه صفات مشابهة لخلايا القطعة الثّخينة من عروة هانلي فهو **كتيم تماماً للماء والبولة**.
- يتمّ فيه عود امتصاص **5% من كلور الصوديوم**[11] وكذلك شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم.
- تقوم **المدرات التيازيدية** بتثبيط عود الامتصاص في هذا الجزء (أي تثبيط عود امتصاص الصوديوم والكلور).



إنّ وظيفة الجزء الصاعد من عروة هانلي والقطعة الأولى من الأنبوب القاصي (الجزء القريب من الأنبوب القاصي) **تخفيف تناضحية السّائل** الموجود بداخلها[12].

11 حتى هنا يكون قد تم إعادة امتصاص 95٪ من كلور الصوديوم وبقي 5٪.

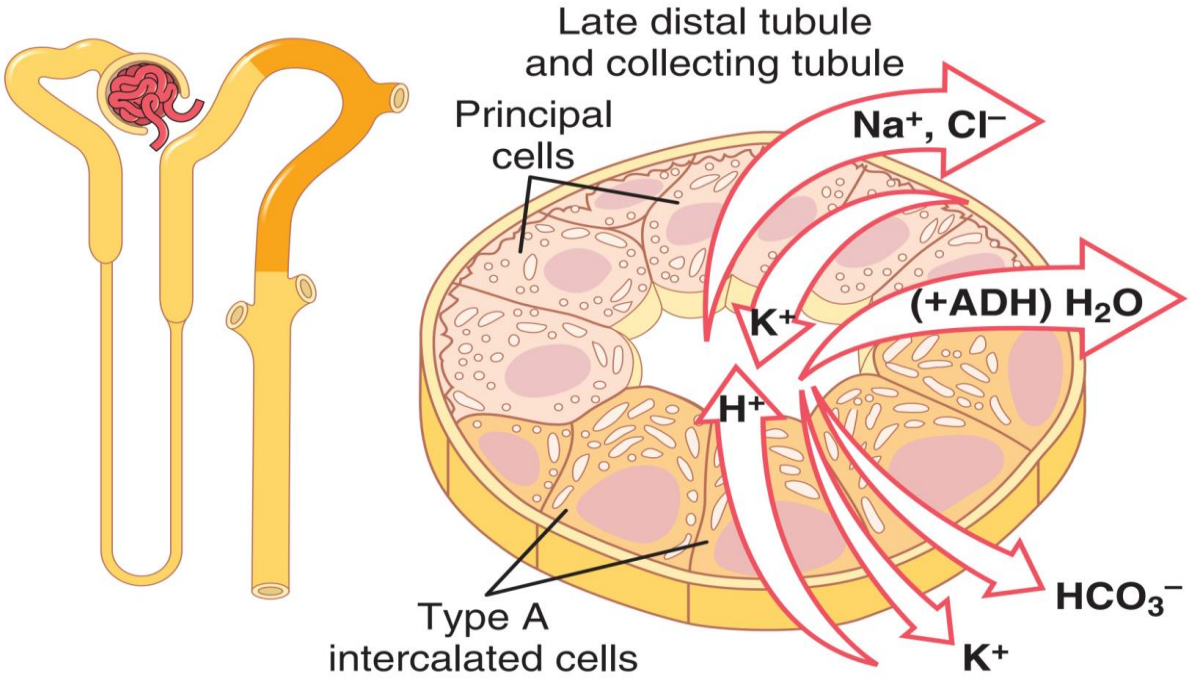
12 أرشيف.

الجزء البعيد من الأنبوب القاصي Late Distal convoluted Tubule
والأنبوب الجامع القشري Cortical Collecting Duct

⁂ يحوي الجزء البعيد للأنبوب القاصي والقناة الجامعة نوعين من الخلايا: الخلايا الرئيسية والخلايا المُقحمة[13] Principal and intercalated Cells.

⁂ **يتمتّع هذان الجزآن من الأنبوب البولي بالخصائص الوظيفية التّالية:**

1) إنّ أغشية هذين الجزأين غير نفوذة وبشكل كامل للبولة (مثل القسم الصّاعد من عروة هانلي).
2) يكون **عود امتصاص الصّوديوم** مرتبط بالألدوستيرون.
3) يكون **إفراز البوتاسيوم** مرتبط بالألدوستيرون وعوامل أخرى[14].
4) تملك خلايا Intercalated Cells القدرة على إفراز شوارد الهيدروجين بعكس مدروج التركيز المرتفع، وبالتالي فهي تلعب دوراً هاماً في **تنظيم PH الدم**.
5) إنَّ نفوذية هذين الجزأين للماء مرتبطة بتركيز **الهرمون المضاد للإبالة ADH** (الفازوبريسين) فعند غيابه تنعدم إمكانية عود امتصاص الماء في هذا الجزء من الأنبوب البولي.



13 الخلايا المُقحَمة Intercalated Cells: خلايا متخصّصة بإفراز الهيدروجين.

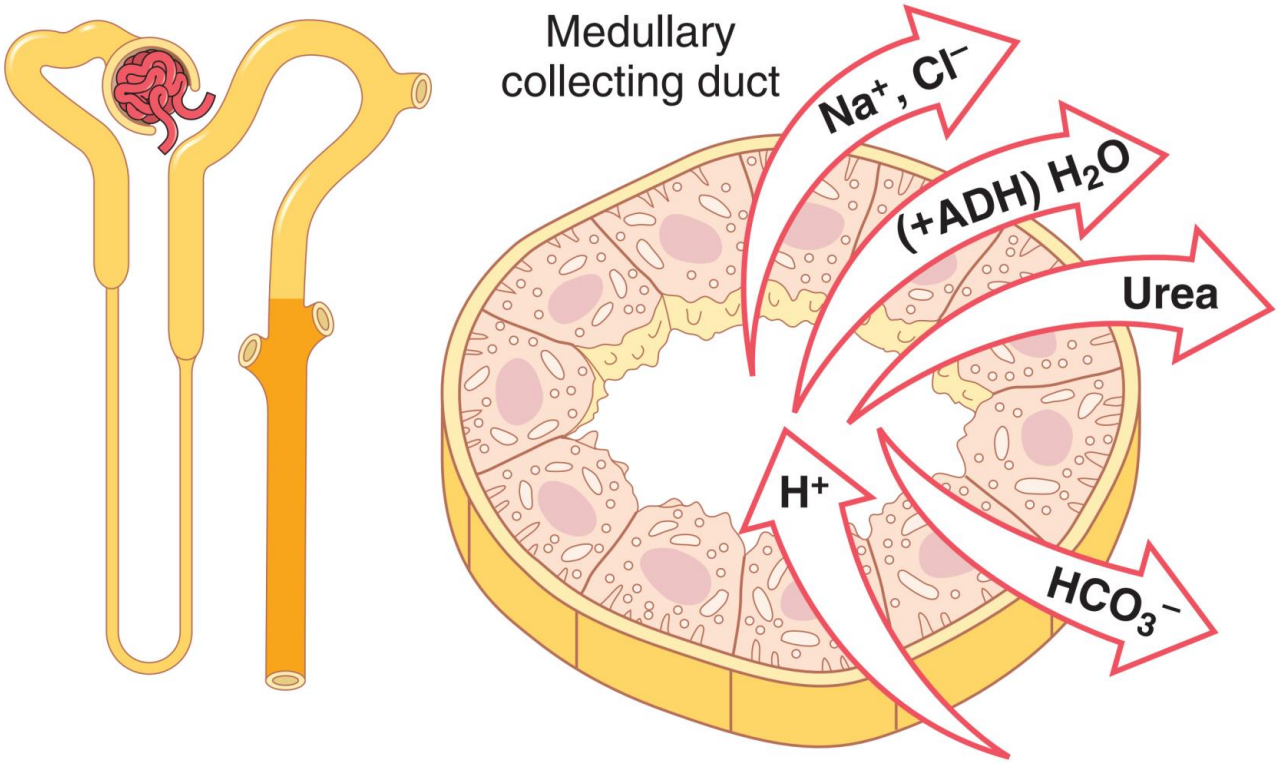
14 مثل فرط بوتاسيوم الدّم.

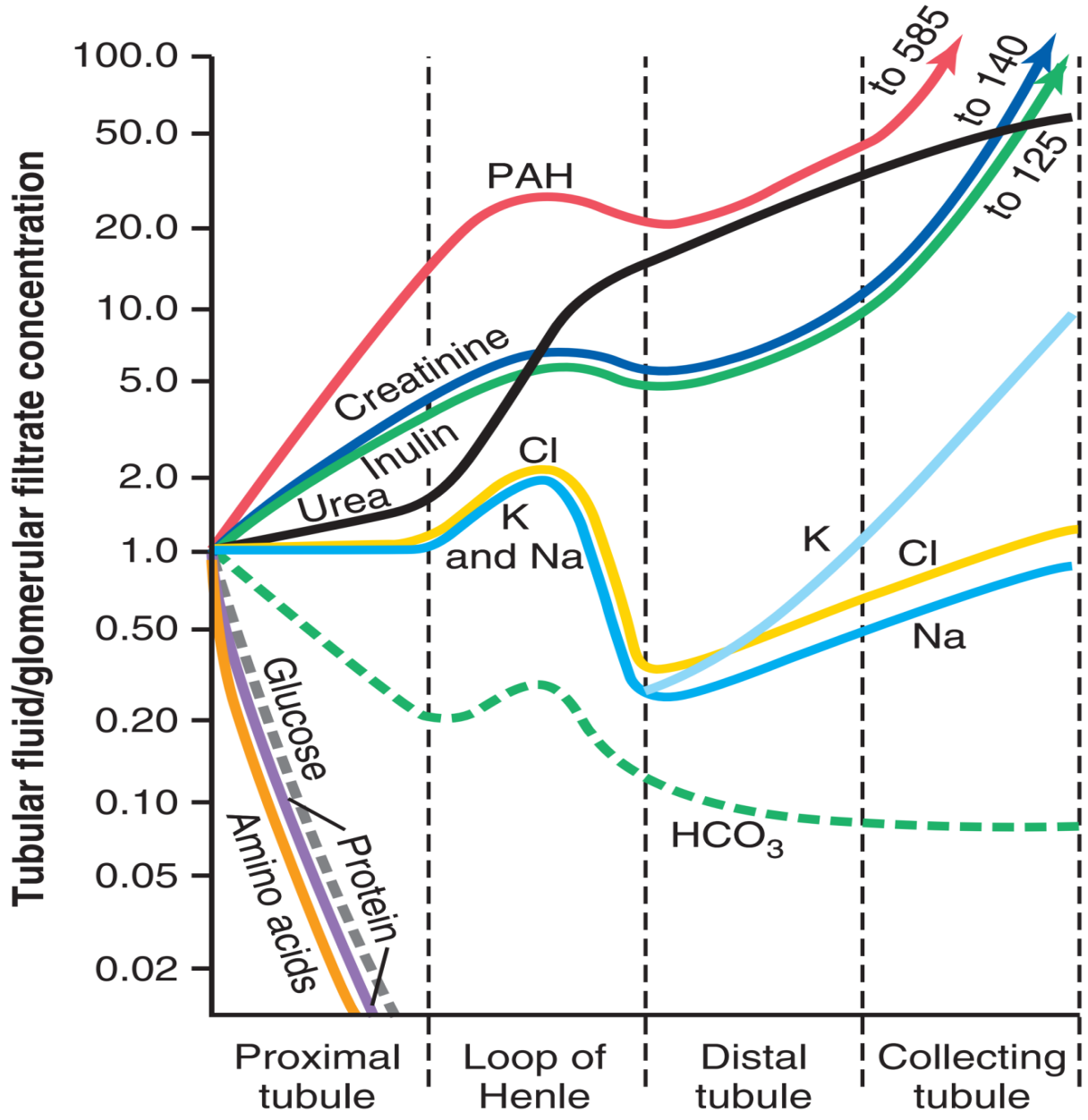
القناة الجامعة اللبيّة Medullary Collecting Duct

- يتمّ فيها إعادة امتصاص **10% من شوارد الصّوديوم والماء**.
- تمتاز الخلايا في هذا الجزء بالمميّزات التالية:

1) نفوذيّتها للماء مرتبطة بتركيز ADH.
2) **نفوذة للبولة** على عكس الجزء القشري من الأنبوب الجامع ويزيد الـ ADH من هذه النّفوذيّة.
3) تستطيع إفراز شوارد الهيدروجين **ضدّ مدروج التركيز المرتفع** (قد يصل إلى يصل إلى 1000 ضعف)، أي أنّ القناة الجامعة تحوي شوارد الهيدروجين داخل اللمعة بتركيز أعلى من تركيزها في الدّم، ومع ذلك تُفرَز هذه الشّوارد من الدّم إلى القناة ضدّ مدروج تركيزها.
4) تملك خلايا القناة الجامعة اللبية القدرة على **تحميض البول** (بسبب إفراز شوارد الهيدروجين ضدّ مدروج التركيز)، وبالتالي تلعب دوراً هامّاً في **تنظيم التّوازن الحمضي القلوي**.

في حالة شرب الماء بكثرة لا يتحرر هرمون الـ ADH وبالتالي يطرح 15% من الماء عبر الكليتين.





رسم بياني يوضّح التّغيرات الوسطية لتراكيز المواد المختلفة أثناء عبورها في الأنبوب البولي إلى تركيزها في البلازما.

- تُشير القيمة 1.0 على أنّ تركيز المادة في سائل الأنبوب (أو تركيز المادّة في الرشاحة الكبيّة) مساوياً لتركيزها في البلازما.
- تُشير القيم أصغر من 1.0 على أنّ المادّة قد أُعيد امتصاصها أكثر من الماء.
- بينما تُشير القيم التي تكون أكبر من 1.0 على أنّ المادة قد أُعيد امتصاصها أقل من الماء أو قد تم إفرازها إلى الأنابيب.

تذكرة لما ورد في المحاضرة السابقة (وقد ذكرها الدكتور مرّةً أخرى):

- إن المواد التي تكون تصفيتها مساوية لـ 125 مل/دقيقة هي مواد تُرشح فقط أي لا تُمتص ولا تُفرز (مثل: الكرياتينين).
- إن المواد التي تكون تصفيتها أكبر من 125 مل/دقيقة يكون عود امتصاصها قليل، حتى إن وصلنا إلى معدل تصفية 585 مل/دقيقة تشارك إلى عود الامتصاص عملية الإفراز.
- إن المواد التي تكون تصفيتها أقل من 125 مل/دقيقة يكون عود امتصاصها سريع، حتى إن وصلنا إلى معدل تصفية 0 مل/دقيقة تكون مُمتصة بشكل كامل (مثل: الغلوكوز).

الآليات الكلوية التي تسيطر على تناضحية السائل خارج الخلايا

آليات طرح الماء الزائد (طرح البول الممدد)

❖ يتحكم بها بشكل أساسي: **الهرمون المضاد للإدرار ADH**:

عندما ترتفع تناضحية سوائل الجسم فوق الحد الطبيعي (وجود كميات قليلة من الماء في الجسم):

1) **تتحسس مستقبلات توجد في الوطاء تدعى: Osmo Receptors تغيرات تناضحية الدم.**
2) **فيزداد إفراز هرمون الـ ADH[15] من النخامى الخلفية بكميات تتناسب مع هذا الارتفاع في التناضحية (فوق 300 ميلي أسمول تقريباً).**
3) **يزيد هذا الهرمون نفوذية الأنبوب البعيد بجزئه البعيد والقناة الجامعة القشرية واللبية للماء.**
4) **وبالتالي يُعاد امتصاص الماء في هذه الأجزاء مع المحافظة على إفراغ الفضلات مع البول.**

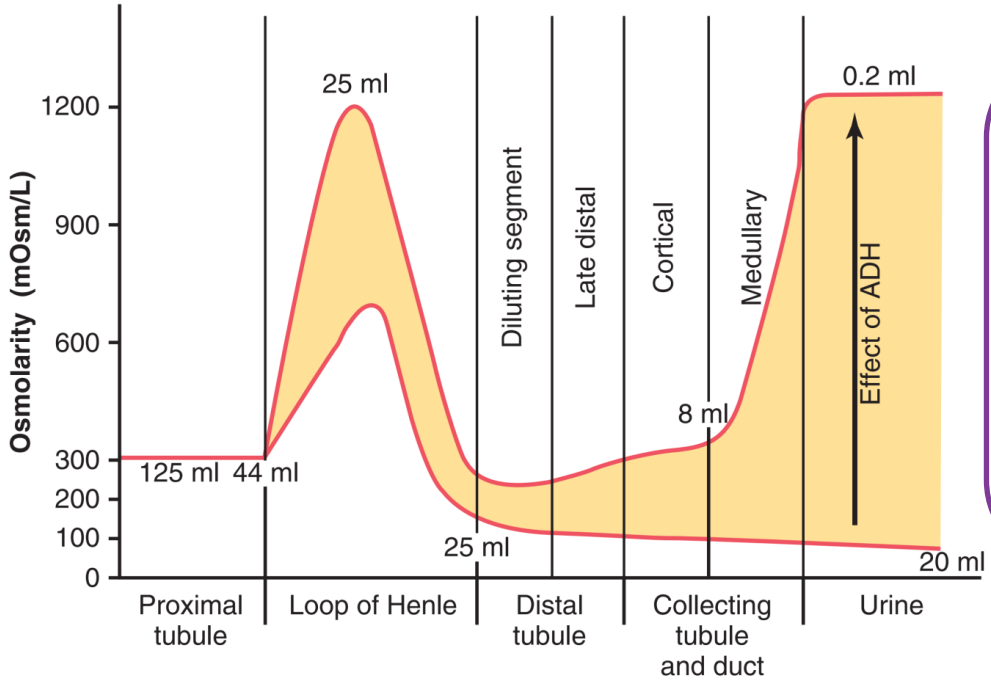
[15] تتعلق زيادته بزيادة امتصاص الماء واليوريا، حيث يوجد مستقبلات في جدار الأنبوب الجامع اللبي تزيد امتصاصها بزيادة ال ADH بالانتشار الميسر.

عندما تنخفض تناضحية سوائل الجسم (وجود كميات كبيرة من الماء في الجسم):

1) ينخفض إفراز ال ADH (ويتوقف إفراز الـ ADH عند قيمة قريبة من 280 ميلي أسمول).
2) وبالتالي تصبح أجزاء الأنبوب البولي الحساسة للـ ADH **غير نفوذة للماء** (فيصبح الأنبوب البولي غير نفوذ للماء ابتداءً من الجزء الصّاعد لعروة هانلي).
3) فيُطرح مع البول كميات كبيرة من الماء متناسبة مع انخفاض الضغط التناضحي لسوائل الجسم.

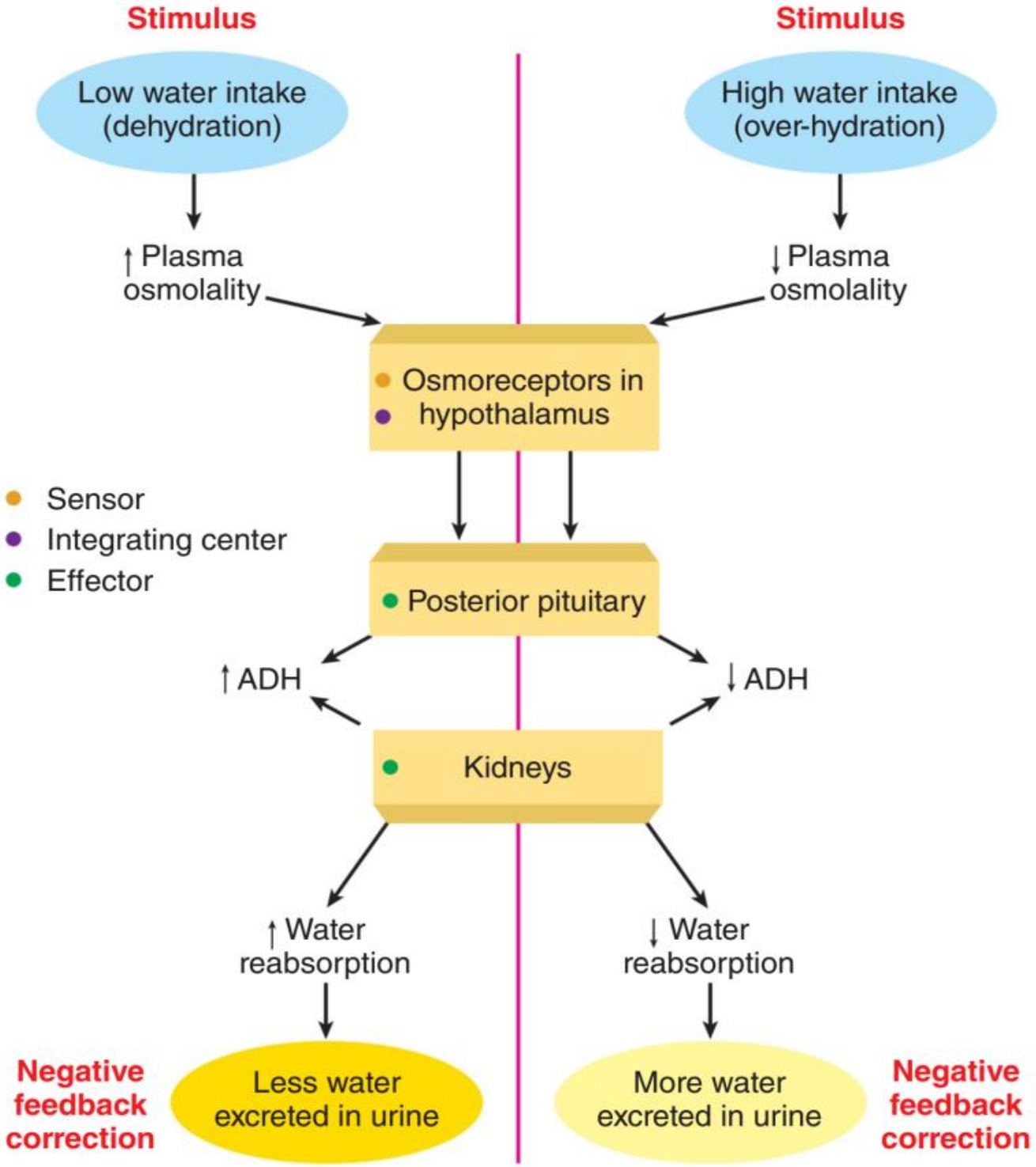
تذكرة:

- يُعاد امتصاص 65% من نسبة الماء المُرتَشَح عبر الأنبوب الدّاني و20% عبر الجزء النازل من عروة هانلي.
- يكون الجزء الصّاعد من عروة هانلي والقطعة الأولى (القريبة) من الأنبوب القاصي غير نفوذة للماء أبداً.
- أمّا القطعة الثانية من الأنبوب القاصي (الجزء البعيد من الأنبوب القاصي) والقناة الجامعة القشرية واللبية نفوذة للماء ولكن بشرط وجود ال ADH.
- وبالتّالي تكون 15% من نسبة الماء المُرتَشح مرتبطة بال ADH[16] (وتعادل نحو 27 لتر من 180 لتر سائل مُرتَشح يومياً).
- من أهم العوامل التي تخفّض تناضحية سوائل الجسم هي تناول الماء بكثرة، إذ يعد الماء أكبر مثبط لإفراز الهرمون المضاد للإبالة.



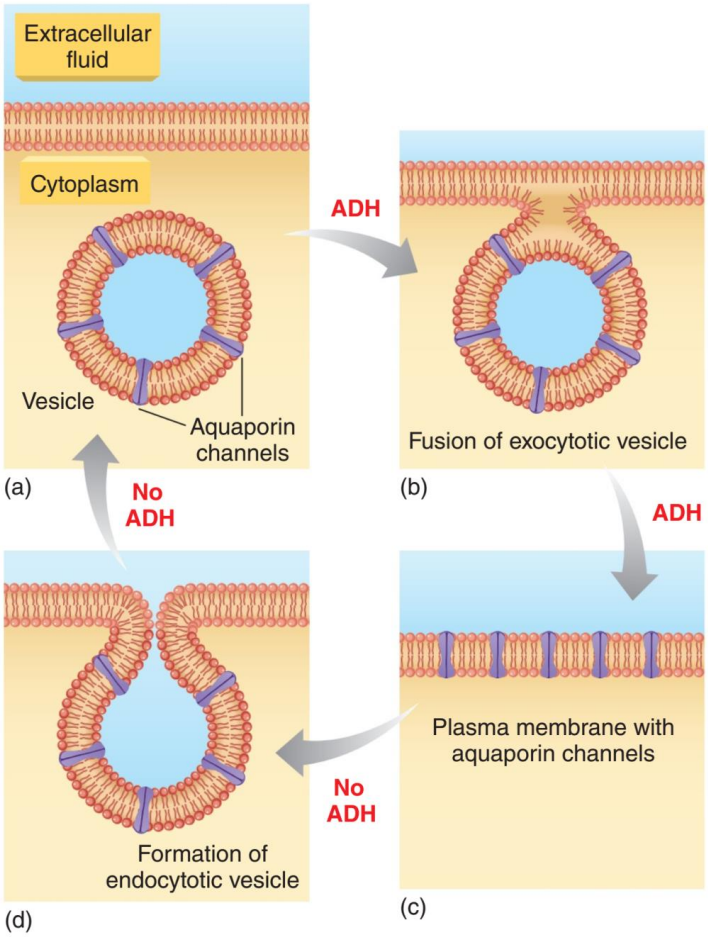
صورة توضّح تغيرات تناضحية السائل الأنبوبي أثناء عبوره لمختلف أجزاء الأنبوب البولي بحالة وجود ال ADH وبحالة عدم وجوده (لاحظ كميّة البول المطروحة في الحالتين)

16 في حال شخص لا يوجد عنده إفراز لـ ADH يصاب بالبيلة التفهة، وتكون كمية البول عنده حوالي 27 لتر في حال رَشح عنده في اليوم 180 لتر.



صورة ترسيمية توضّح دور الهرمون المضاد للإبالة عند ارتفاع أو انخفاض الضّغط التّناضحي لسوائل الجسم

(لاحظ أنّ هذه التأثيرات تخضع لآليّة تلقيم راجع سلبي)



صورة ترسيمية للاطّلاع تُظهر آلية تأثير ال ADH على خلايا الأنبوب البعيد والأنبوب الجامع القشري لتفعيل عبور الماء بالتّناضح عبرها (أي لتفعيل عود الامتصاص الماء في هذه الأجزاء)

آليات تكثيف البول

❖ إنَّ الآليّة الرئيسية التي تعمل على تكثيف البول هي: إنشاء تركيز للذوائب في اللّب الكلوي (لجذب الماء نحوه) وتختص النفرونات المجاورة للب بهذه الآلية.

❖ حيث يوجد نوعين من النفرونات هما اللبية والقشرية تختلف نسبتهما بين الكائنات، فنلاحظ أنّ الكائنات الصحراوية يكون لديها نسبة النفرونات اللبية أكبر من الكائنات البحرية، لذلك لها قدرة عالية على تكثيف البول.

❖ العوامل الرئيسة التي تساهم في إنشاء تركيز للذوائب في اللب الكلوي هي:

- النقل الفاعل للصوديوم، والنقل المرافق للبوتاسيوم والكلور والشوارد الأخرى خارج القطعة الثخينة من الجزء الصاعد لعروة هانلي إلى الخلال اللبي دون عود امتصاص الماء واليوريا (غير نفوذة لهما).
- النقل الفاعل للشوارد من الأنبوب الجامع إلى الخلال اللبي.

- النقل المُيسَّر لكميات كبيرة من البولة من داخل **الأنابيب الجامعة اللبية** إلى الخلال اللبي[17] (يتعزز بوجود ADH).
- انتشار الماء من الأنابيب الموجودة في اللب إلى الخلال اللبي بكميات أقل بكثير من الذوائب المعاد امتصاصها.

شرح الآلية

يلزم لإنتاج بول مكثّف:

1) **مستويات مرتفعة من هرمون ADH**.
2) **تركيز مرتفع للذوائب في السائل الخلالي للب الكلية:** حيث يجب أن تكون حلولية السائل الخلالي مرتفعة كي يتشكّل مدروج حلولي يدفع الماء للانتقال من الوسط الأقل حلولية (السائل النبيبي) إلى الوسط الأشد حلولية (السائل الخلالي).

آلية التيار المعاكس[18] Counter-Current Mechanism:

- في الحالة الطبيعية، تقوم هذه الآلية بجعل السائل الخلالي في لب الكلية شديد الحلولية.
- **وتعتمد هذه الآليّة على:**
  - عرى هانلي للنفرونات قرب اللبية Juxtamedullary Nephrons.
  - القنوات الجامعة اللبّية Medullary Collecting Ducts.
  - الأوعية المستقيمة Vasa Recta.

7. دور عرى هانلي للنفرونات قرب اللبّية:

- تتألّف هذه العروة من:
  - ✓ **جزء نازل** عالي النفوذية للماء ومعتدل النفوذية للصوديوم والبولة.
  - ✓ **جزء صاعد** عديم النّفوذية للماء والبولة ولكنه (وخاصّةً القطعة الثّخينة) ذات قدرة عالية على النّقل الفاعل لشوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكلور.

17 تذكّر البولة تنتقل دوماً حسب مدروج تركيزها.

18 تعني أيضاً التأثير المتبادل للمواد على بعضها البعض، كأن يُعاد امتصاص البولة بسبب عود امتصاص الماء وأن يُعاد امتصاص الماء متأثراً بعود امتصاص البولة.

- تستطيع عمليات الامتصاص الفاعل للشوارد من القطعة الثخينة الصاعدة أن تولّد ضغطاً تناضحياً بين اللمعة والسائل الخلالي مقداره 200 مل أوزمول.

➢ **لنناقش الآن كيفية قيام عرى هانلي بجعل السائل الخلالي شديد الحلولية:**

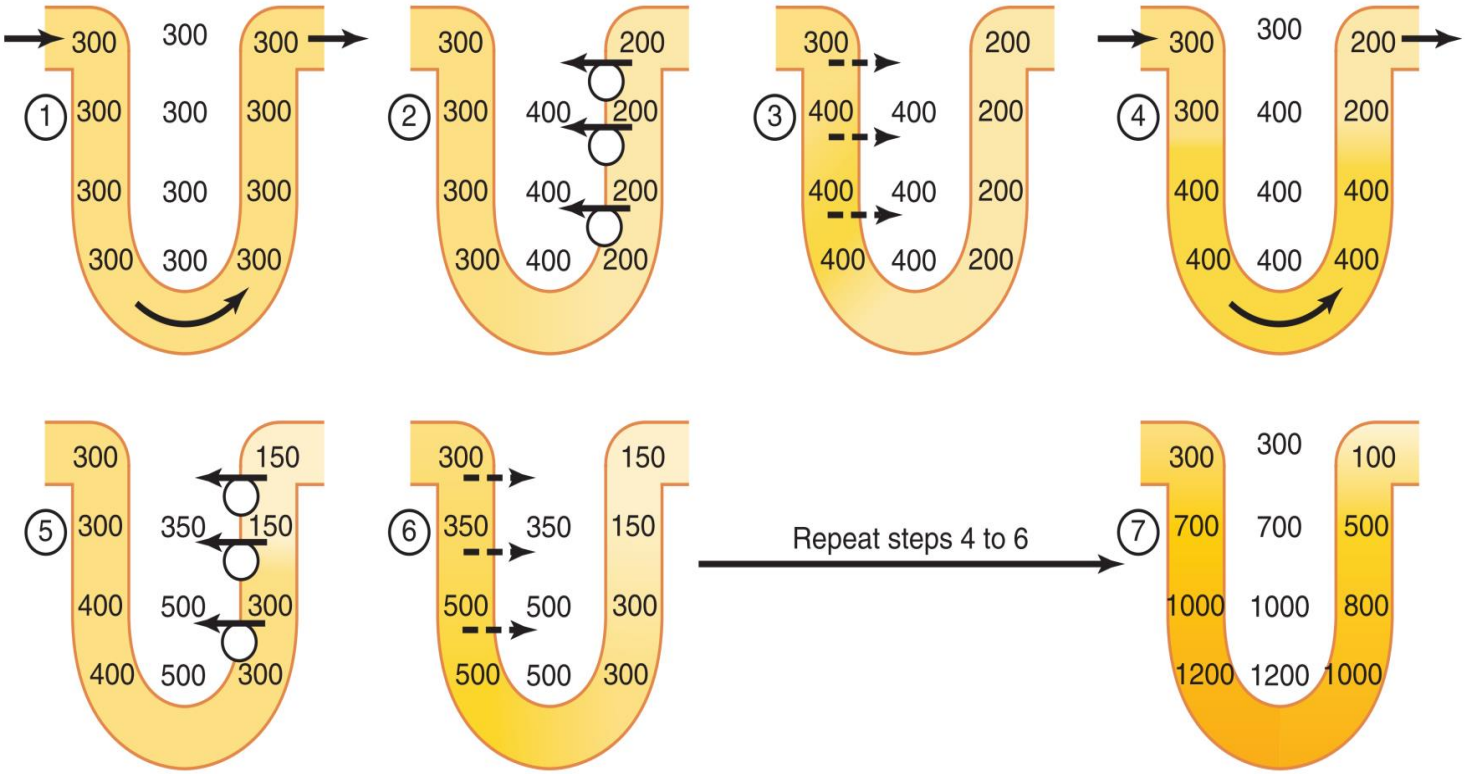
1) على اعتبار أنّ حلولية السائل النبيبي في عروة هانلي تساوي 300 مل أوزمول (نفس حلولية السائل الآتي من النبيب الداني)، وأنّ حلولية السائل الخلالي في لبّ الكلية هي أيضاً 300 مل أوزمول.
2) تبدأ **القطعة الثخينة الصاعدة** بامتصاص الشّوارد من السّائل النّبيبي إلى السّائل الخلالي، فتنخفض حلولية السّائل النّبيبي وترتفع حلولية السّائل الخلالي إلى أن يصبح الفرق بينهما 200 مل أوزمول (أي تصبح حلولية السائل النبيبي 200 مل أوزمول وحلولية السائل الخلالي 400 مل أوزمول).
3) نتيجة ارتفاع حلولية السائل الخلالي، يبدأ الماء بالانتقال من السائل النبيبي في **الجزء النّازل من العروة** إلى السائل الخلالي (بسبب اختلاف الحلولية بينهما).
يستمرّ انتقال الماء إلى أن تتساوى حلولية السائلين، وبما أنّ حلولية السائل الخلالي ثابتة عند 400 مل أوزمول (نتيجة الامتصاص الفاعل المستمرّ للشوارد في القطعة الثخينة الصاعدة) فإنّ حلولية السائل النبيبي في الشعبة النازلة **تزداد** إلى أن تبلغ 400 مل أوزمول.
4) وتتكرّر العملية إلى أن تصل حلولية السائل الخلالي للبّ الكلية إلى حوالي 1200-1400 مل أوزمول[19] (وذلك مع كل وصول لدفعة جديدة من السّائل من النبيب الدّاني).

إذاً، تشتمل آلية التيار المعاكس في عرى هانلي على ما يلي:

- امتصاص فاعل للشوارد في القطعة الثخينة الصاعدة (دون امتصاص مرافق للماء والبولة)، فيصبح السائل النبيبي فيها منخفض الضّغط التناضحي (يتمدّد) بينما يصبح السائل الخلالي مرتفع الضّغط التناضحي.

19 تملك بعض الكائنات قدرة على رفعه لحوالي 14000 مل أوزمول أي تطرح بول شديد التكثيف مثل الكائنات الصحراوية (أرشيف).

- **امتصاص الماء في الجزء النازل من عروة هانلي** (دون امتصاص مرافق للشوارد إلا حسب مدروج تركيزها)، فترتفع تناضحية السائل النبيبي فيها (**يتكثّف**) إلى أن تتساوى مع حلولية السائل الخلالي.
- **دفع السائل المكثف مرتفع الحلولية الذي تشكّل في الجزء النازل إلى الجزء الصاعد**، حيث يحدث امتصاص فاعل للشوارد منه إلى السائل الخلالي، ممّا يؤدّي لتراكم المزيد من الشوارد في السائل الخلالي وارتفاع حلوليته بشكل أكبر من السابق[20].
- **تكرار العملية السابقة**.



صورة ترسيمية توضّح آلية التّيار المعاكس في عروة هانلي والتي تساعد في إنشاء تركيز مرتفع للذوائب في اللب الكلوي.

2. دور القنوات الجامعة اللبّية[21]:

- للقنوات الجامعة اللبية الداخلية دور هام في جعل السائل الخلالي للب الكلية شديد الحلولية (حوالي 1200 مل أوزمول)، ويكون المساهم الرئيسي هنا هو **البولة**.

20 ينتقل الماء من السائل الخلالي إلى الأوعية حول النبيبية دون انتقال للشوارد لتحافظ على مدروج التركيز والضغط التناضحي.

21 اكتفى الدكتور بشرح دور عرى هانلي والتوسع في باقي الفقرات من الأرشيف.

- لنتحدّث عن عود امتصاص البولة على طول الأنبوب البولي:

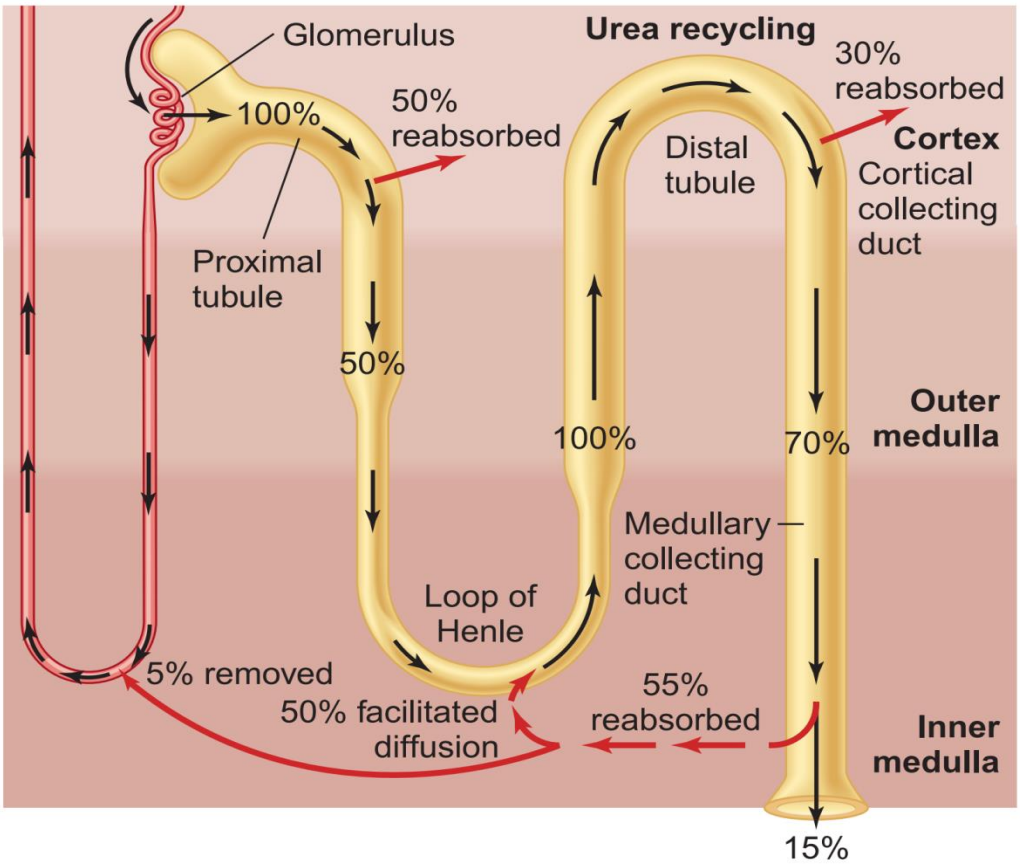
يتمّ امتصاص البولة تبعاً لمدروج تركيزها في **النبيب المعوج القريب**.

قد يُعاد امتصاص البولة تبعاً لمدروج تركيزها في **الجزء النّازل من عروة هانلي**.

لا يحدث عود امتصاص للبولة **بدءاً من الجزء الصّاعد لعروة هانلي وحتى الأنبوب الجامع القشري**، فهذه الأجزاء غير نفوذة لها.

عند تشكيل بول مكثّف وارتفاع مستويات ال ADH في الجسم، تزداد نفوذية القطعة الثّانية من الأنبوب القاصي والأنبوب الجامع القشري **للماء** (ولكنّها تبقى غير نفوذة للبولة) فيزداد عود امتصاص الماء من السائل النبيبي فيها، ممّا يؤدّي إلى **زيادة في تركيز البولة** في السّائل النبيبي.

تكون **القناة الجامعة اللبيّة** نفوذة للبولة وذلك تبعاً لمدروج تركيزها (تزداد نفوذيتها بوجود ال ADH).

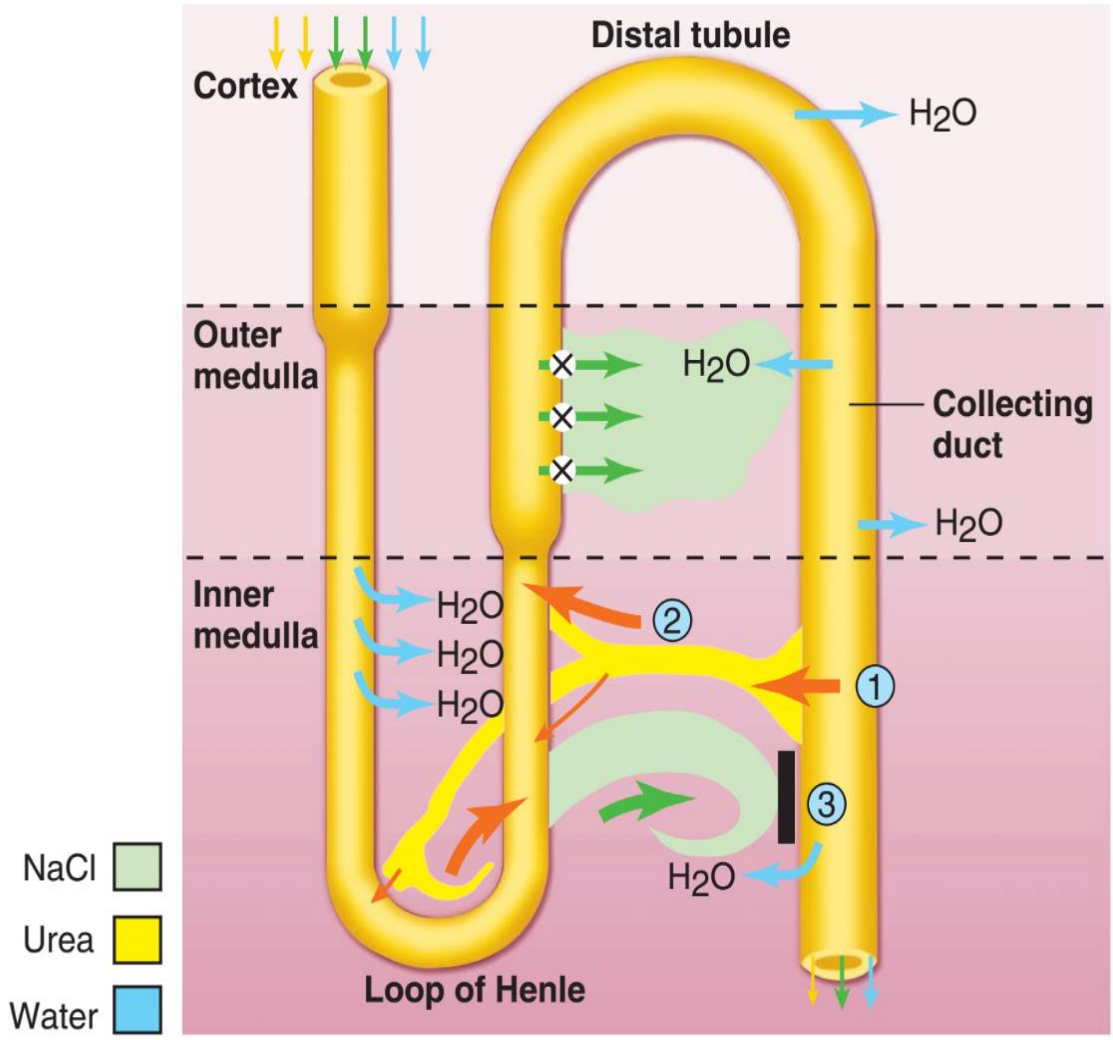


صورة ترسيميّة توضّح نسب عود امتصاص البولة على طول الأنبوب

ماذا يحدث في القناة الجامعة اللبيّة عند تشكيل بول مكثف وارتفاع ADH؟

يؤدّي ارتفاع مستويات ال ADH إلى **ازدياد نفوذية القناة الجامعة اللبيّة للبولة** (نتيجة تفعيل نواقل البولة)، وبما أنّ تركيز البولة في لمعة القناة مرتفع فإنّها تبدأ بالانتقال وفق مدروج تركيزها من اللمعة إلى السائل الخلالي (**انتشار ميسّر**).

- تتراكم البولة في السائل الخلالي مرتفع التناضحية مؤدّيةً إلى رفع ضغطه التناضحي أكثر.
- في القنوات الجامعة اللبّية، وبوجود مستويات عالية من ال ADH، يتمّ امتصاص الماء (بالتناضح) من السائل النبيبي وتكثيفه إلى أن تتساوى حلوليته مع حلولية السائل الخلالي.
- وبما أنّ ارتفاع ال ADH يؤدّي إلى تراكم البولة في السائل الخلالي للبّ الكلية وازدياد حلوليته بشكل أكبر، يتمّ امتصاص كمّيات كبيرة من الماء من السّائل النبيبي إلى السّائل الخلالي، وبالتالي يتمّ تكثيف السائل النبيبي بشكل أكبر.



صورة ترسيميّة توضّح دور البولة في تركيز البول:

1. تنتشر البولة خارج القناة الجامعة اللبيّة إلى الخلال اللبّي (فترفع من تناضحيته).
2. قد يُعاد نسبة منها إلى الجزء الصّاعد من عروة هانلي (أي أنّها قد تُفرز إلى الأنبوب البولي ولكن لا يمكن إعادة امتصاصها في هذا الجزء كما ذكرنا سابقاً -الدّكتور لم يتطرّق لفكرة إفرازها إلى الأنابيب-).
3. وأخيراً يخرج الماء بالتّناضح عبر القناة الجامعة متأثّراً بارتفاع تناضحية اللب الكلوي (المسؤول عنه كلّ من كلوريد الصّوديوم والبولة).

ملاحظات هامّة:

- عندما نتحدّث عن دور عرى هانلي في آلية التيار المعاكس، فإنّ شوارد الصوديوم تكون المساهم الرئيسي، أي أنّ المنحلات التي تمتصّ من عرى هانلي إلى السائل الخلالي وتؤدّي إلى رفع ضغطه التناضحي هي **شوارد الصوديوم**.
- بينما تكون البولة هي المساهم الرئيسي عندما نتحدّث عن دور القنوات الجامعة اللبّية الداخلية في آلية التيار المعاكس.
- كما نعلم، فإنّ البولة ناتجة عن تحطّم البروتينات، وبالتالي فإنّ نقص الوارد الغذائي من البروتينات يخفّف من قدرة الكليتين على تكثيف البول (لأنّ البولة تساهم بشكل كبير في هذه الآلية)، ومن هنا نستنتج أنّ البروتينات تساعد في الحفاظ على كميّة الماء في الجسم، وأنّ أهم وظائف البولة هي المساهمة في إنشاء منطقة من التركيز المرتفع في اللب الكلوي (وبالتالي المساهمة في تكثيف البول).
- أيضاً في حال تناول غذاء غني بالبروتين سيرتفع تركيز الحموض الأمينية في الدم ومنه يرتفع بالرشاحة، ونعلم أنّ الحموض الأمينية يعاد امتصاصها بالكامل في الأنبوب القريب نتيجة عدم وجود عتبة كلوية، ويتم ذلك عن طريق نقل مرافق مع الصوديوم، ومنه ونتيجة إعادة امتصاص الصوديوم بشكل كبير يصل كمية قليلة منه للأنبوب البعيد مما ينبه الجهاز المجاور للكبب[22]، مما يسبب توسيع الشرين الوارد وإفراز الرينين مما يؤدي لزيادة تكثيف البول.

3. دور الأوعية المستقيمة *Vasa Recta*:

- يكون السائل الخلالي للب الكلية مرتفع الضّغط التناضحي، ولكن يُعزى منع ضياع هذه المنحلات ضمن الدم الذي يروّي لبّ الكلية إلى أمرين:

1) **الجريان الدموي المنخفض للبّ الكلية:**

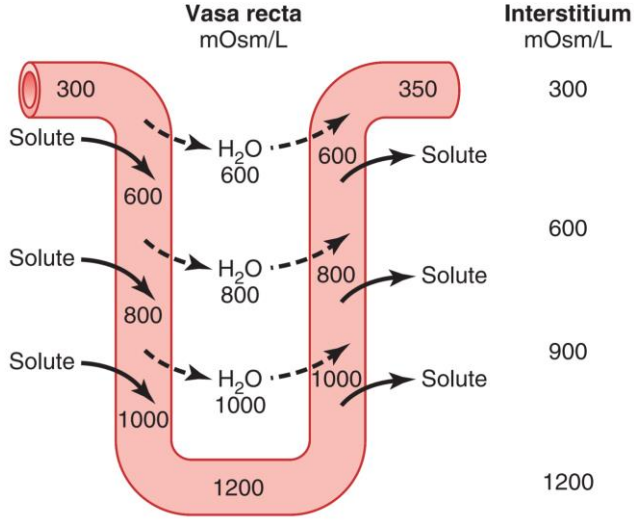
حيث لا يتجاوز الجريان الدموي للبّ الكلية 5% من الجريان الدموي الكلوي الإجمالي.

[22] يتكون هذا الجهاز من: خلايا البقعة الكثيفة (وهي جزء من النبيب القاصي)، وخلايا قرب كبيبية وهي المسؤولة عن إفراز الرينين، وخلايا خارج كبيبية.

2) **آلية التيار المعاكس في الأوعية المستقيمة:**

تتمّ تروية لبّ الكلية كما نعلم من الأوعية المستقيمة Vasa Recta، حيث تتوضّع هذه الأوعية بشكل مشابه لتوضّع عرى هانلي (بشكل حرف U) والذي يؤدّي إلى تقليل خسارة المواد المنحلة (المتراكمة في اللب) ضمن الدم وذلك كما يلي:

- مع نزول الدم (في الأقسام النازلة للأوعية المستقيمة) ضمن اللب، تبدأ عمليات انتقال الماء والمواد المنحلة فيما بينه وبين السائل الخلالي للب الكلية، إذ:
  - ✓ ينتقل الماء من الحلولية المنخفضة إلى الحلولية المرتفعة (أي من الدم إلى السائل الخلالي).
  - ✓ بينما تنتقل المواد المنحلة من الحلولية المرتفعة إلى الحلولية المنخفضة.
  - ✓ وبذلك **تزداد حلولية الدم** بالتدريج ويتكثف (نتيجة نقص الماء وازدياد المواد المنحلة فيه).
- عندما يصل الدم إلى ذرا الأوعية المستقيمة (ذروة ال U) تكون حلوليته قد أصبحت مساويةً لحلولية السائل الخلالي.
- بعد ذلك يصعد هذا الدّم المكثف (في الأقسام الصّاعدة للأوعية المستقيمة) نحو القشر، وعندها تبدأ عمليات انتقال الماء والمواد المنحلة فيما بينه وبين السائل الخلالي مرّةً أخرى (بسبب نقصان حلولية السائل الخلالي كلما اتجهنا نحو القشر) ولكن بشكل معاكس، إذ:
  - ✓ ينتقل الماء من السائل الخلالي إلى الدم.
  - ✓ بينما تنتقل المواد المنحلة من الدم إلى السائل الخلالي.
  - ✓ وبذلك **تتناقص حلولية الدم** بالتدريج (نتيجة ازدياد الماء ونقص المواد المنحلة فيه).
- يعود الدم بعد ذلك من الأوعية المستقيمة إلى القشر وقد حمل معه كمية ضئيلة من المواد المنحلة، وبذلك لا تتأثر حلولية السائل الخلالي للبّ الكلية بشكل كبير ويتمّ الحفاظ عليها.

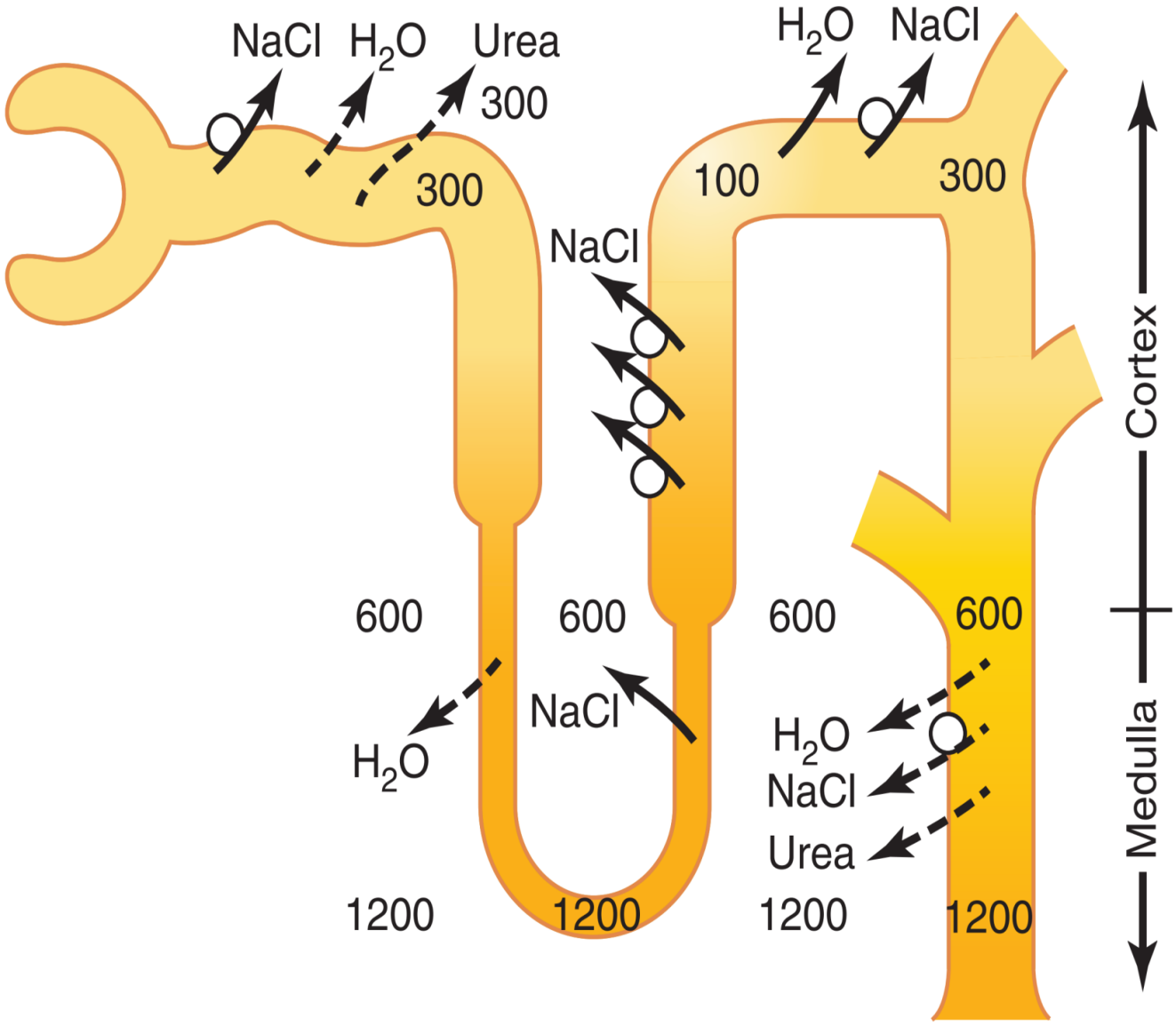


صورة ترسيميّة توضّح آلية التيار المُتعاكس في الأوعية المستقيمة

ملاحظات هامّة:

- إنّ الأوعية المستقيمة لا ترفع الضغط التناضحي في السائل الخلالي للب الكلية، وإنّما تقوم **بالحفاظ** على هذا الضّغط التّناضحي المرتفع.
- لا يمنع الشكل U الذي تتّخذه الأوعية المستقيمة عمليات انتقال الماء والمواد المنحلة (المُذابات) بين الدم الموجود فيها والسائل الخلالي، ولكنّه يمنع أن تؤدّي هذه العمليات إلى خسارة كبيرة في المُذابات المتراكمة في السائل الخلالي (وهذه الخسارة كانت ستحدث لو لم تتّخذ الأوعية المستقيمة هذا الشكل المميّز).

صورة تلخّص آلية تكثيف البول



Overview *-*

جدول لمقارنة القدرات الامتصاصيّة لمختلف أجزاء الأنبوب البولي:

أجزاء الأنبوب البولي		الأنبوب الدّاني	عرو هانلي			الأنبوب القاصي		الأنبوب الجامع القشري	القناة الجامعة اللبّية	ملاحظات
عود الامتصاص	الماء	%65	الجزء النازل %20	الجزء الرقيق الصاعد	الجزء الثخين الصاعد	القطعة الأولى (القريبة)	القطعة الثانية (البعيدة)	مرتبط بال ADH		
	البولة	أقل من الماء	انتشار معتدل وفق مدروج التركيز	كتيم				كتيمة	نفوذة ومرتبطة بال ADH	
	Na+, Cl- والبيكربونات والشوارد	65% صوديوم وكلور تقريبا وبنسبة كبيرة للبيكربونات		وفق مدروج التركيز	25% عود امتصاص فاعل مرافق وانتشار	5% من الكلور والصوديوم		مرتبط بالألدوستيرون	%10	إفراز شوارد الهيدروجين
		- يقوم بإفراز الحموض العضوية وشوارد الهيدروجين - عود امتصاصه للغلوكوز كبير جداً	يقوم الجزء الثخين الصاعد من عروة هانلي بإفراز الهيدروجين							

جدول لمقارنة أنواع النقل:

نوع النقل		مصدر الطاقة	جهة النقل	ملاحظات	أمثلة
الانتشار	الانتشار البسيط	لا يحتاج طاقة	وفق مدروج التركيز	• يحدث عبر فتحات الغشاء الخلوي أو الأفضية بين الجزيئية • تتحدد سرعته بالعوامل التالية: 1. كمية المادة المتوافرة على أحد الجانبين (مدروج التركيز) 2. سرعة الحركة النشيطة 3. عدد وحجم الفتحات في الغشاء	الشوارد، المواد غير القطبية، الماء (ينتقل الماء بالتّناضح وهو شكل من أشكال الانتشار البسيط)
	الانتشار الميسّر	لا يحتاج طاقة	وفق مدروج التركيز	• يدعى الانتشار الذي يتوسطه بروتين حامل للنقل • يمتلك سرعة عظمى	الغلوكوز
النقل الفاعل	أولي	تحلل الـ ATP أو بعض مركبات الفوسفات الغنية بالطاقة	بعكس مدروج التركيز		مضخة الصوديوم والبوتاسيوم
	ثانوي	مدروج التركيز الذي سببه النقل الفاعل الأولي	وفق المدروج للمادة الرئيسية	نقل مرافق: المادتين في اتجاه واحد وفق آلية تزاوج بين المادتين	الصوديوم والغلوكوز الصوديوم والحموض الأمينية
				نقل معاكس: المادتين في اتجاهين متعاكسين	الصوديوم والكالسيوم والهيدروجين

- **الآليات الكلوية التي تسيطر على تناضحية السائل خارج الخلايا:**
  1. **آليات طرح الماء الزائد "طرح البول الممدد".**
  2. **آليات تكثيف البول.**
- **يتحكم بآلية طرح الماء الزائد بشكل أساسي: الهرمون المضاد للإبالة الـ ADH.**
- **عندما ترتفع تناضحية سوائل الجسم فوق الحد الطبيعي يزداد إفراز الـ ADH.**
- **عندما تنخفض تناضحية سوائل الجسم ينخفض إفراز الـ ADH.**
- **الآلية الرئيسية التي تعمل على تكثيف البول هي: إنشاء تركيز للذوائب في اللّب الكلوي.**
- **العوامل الرئيسية التي تساهم في إنشاء تركيز للذوائب في اللب الكلوي هي:**
  1. **النقل الفاعل للصوديوم والنقل المرافق للبوتاسيوم والكلور والشوارد الأخرى خارج القطعة الثخينة من الجزء الصاعد لعروة هانلي إلى الخلال اللبي دون عود امتصاص للماء.**
  2. **النقل الفاعل للشوارد من الأنبوب الجامع إلى الخلال اللبي.**
  3. **النقل المُيسَّر لكميات كبيرة من البولة من داخل الأنابيب الجامعة اللبية إلى الخلال اللبي ويتعزّز بوجود ADH.**
  4. **انتشار كميات قليلة من الماء من الأنابيب الموجودة في اللب إلى الخلال اللبي، أقل بكثير من الذوائب المعاد امتصاصها.**

وإلى هنا نصل إلى ختام محاضرتنا...
نتمنى أن نكون
قد استطعنا تقديم الفائدة المرجوّة...
تمنياتنا لكم بالتوفيق *_*

دوّن ملاحظاتك

RBCs