تنظيم السوائل الجسمية Regulation of Body Fluids or Homeostasis

يعني تنظيم السوائل الجسمية حالة توازن السوائل في الجسم ويعني ذلك ان المجموع الكلي للسوائل في الجسم في حالة اعتيادية ، اي الثبات النسبي لانتشار السوائل الجسمية الثلاث في داخل الجسم وهي :

1- السائل داخل الخلايا Intracellular Fluid
2- السائل في خارج الخلايا Extracellular Fluid ويشمل :
* السائل في داخل الاوعية الدموية (البلازما) Plasma
* السائل البيني Interstitial Fluid
* السوائل الخاصة مثل السائل العيني ، المفصلي ، المخي ،الشوكي .

اما حالة عدم توازن السوائل الجسمية فتعني تغير حجوم هذه السوائل وكميتها عن الحدود الطبيعية . هناك بعض المركبات العضوية مثل الكلوكوز التي لا تسمح الاواصربينها بتحطمها واتخاذها على هيئة محاليل تدعى تلك المركبات بغير الالكتروليتية او غير المكهرلة Nonelectrolytes .

اما المركبات الكيمياوية مثل كلوريد الصوديوم NaCl التي يمكن ان تتحطم وتتخذ شكل محاليل بهيئة اجزاء منفصلة او ايونات (Na^+ ، Cl^-) فتدعى كهارل Electrolyte وتحمل شحنات كهربائية سالبة او موجبة أن الكثير من هذه الايونات له اهمية في توازن سوائل الجسم وكل منها يعتمد على الاخر عند حصول اي تغير عن الحدود الاعتيادية لكل منها .

طرق دخول وخروج الماء في الجسم

يدخل الماء الى الجسم عن طريق القناة الهضمية ومن خلال السوائل التي يشربها الكائن الحي ، وكذلك الاغذية التي يتناولها في حياته اليومية وهناك اضافات مستمرة للحجم الكلي لسوائل الجسم من قبل الملايين من خلاياه حيث تنتج كل خلية كمية من الماء بوساطة هدم الغذاء Catabolizing food وهذا بدوره يدخل مجرى الدم . اما فقدان الماء من الجسم فيتم عبر :

1- الكلى Kidney بشكل بول
2- الرئتين lungs بشكل ماء في هواء الزفير
3- الجلد Skin بوساطة الانتشار والتعرق
4- الامعاء Intestine مع البراز Feces

وبموجب المبدأ الرئيس لتوازن الماء فان الحجم الكلي للماء المكتسب يجب ان يكون مساويا للحجم الكلي للماء المفقود ، او بشكل عام السائل الماخوذ Intake يساوي السائل المنتوج Output Fluid .

الماء الماخوذ	كميته	الماء الخارج		كميته
السوائل المهضومة	1500 مل	الكلى (بول)		1400 مل
الماء في الطعام	700 مل	الرئتين (هواء زفير)		
الماء المتكون من حرق الطعام داخل الخلايا	200 مل	الجلد	انتشار	350 مل
			تعرق	100 مل
		الامعاء (براز)		200 مل
المجموع الكلـــــــــــي	2400 مل			2400 مل

علماً ان الحجوم الطبيعية والمثالية لحجوم السوائل الداخلة والخارجة من الجسم يمكن ان تتغاير من شخص الى اخر وحسب طبيعة الظروف .

الية تنظيم الحجم الكلي للسوائل الجسمية Mechanism that maintains Homeostasis of total fluid volume

1- الية تنظيم حجم البول Regulation of urine Volume

هناك عاملان ينظمان حجم البول هما :

أ- معدل الترشيح خلال الكبيبة Glomerulus

ب- معدل اعادة امتصاص الماء عبر النبيبات الكلوية Renal tubules

ويبقى معدل الترشيح في الكبيبات ثابتاً نسبياالا في الحالات غير الطبيعية ولهذا فهو لايسبب تذبذبا في حجم البول ، اما معدل اعادة امتصاص الماء في النبيبات الكلوية فهو يتذبذب بشكل محسوس ، ولهذا ينظم حجم البول نسبة الى السائل الداخل الى الجسم .

وينظم كمية الماء الذي يعيد امتصاصه النبيبات الكلوية الهرمون مانع التبول Antidiuretic Hormone (ADH) والالدوستيرون Aldosterone ويفرز الاول من الفص الخلفي للغدة النخامية Pituitary gland اما الالدوستيرون فتفرزه قشرة الغدة الكظرية Adrenal cortex ، فعلى الرغم من التغييرات في حجوم السائل التي يفرزها الجلد والرئتان والامعاء (حيث تؤثر في نسبة السائل المكتسب الى السائل المفقود) فان هذه الحجوم لا تؤثر في حجم الماء الذي يطلقه الجسم كما في تاثير حجم البول .

ان معدل التنفس وحجم العرق المفرز يعدان من العوامل التي تغير حجم السائل المفقود في الظروف غـــــير الاعتيادية ، حيث يفقد المريض الذي يعاني من فرط التهوية Hyperventilation لفترة طويلة كمية من الماء تتزايد باستمرار خلال هواء الزفير ، فاذا ازداد طرحه عن المتناول من الماء تحدث حالة عدم توازن السائل او الجفاف Dehydration اي نقصان في ماء الجسم الكلي .

وهناك حالات اخرى غير اعتيادية مثل التقيؤ Vomiting والاسهال Diarrhea وافراغات الامعاء التي تسبب طرحا للماء والكهارل Electrolyte اكثر من الماء المكتسب ، اضافة الى عدم توازن الكهارل في الجسم بشكل عام

2- الية تنظيم السوائل المكتسبة Regulation of Fluid intake

لا يتفق البعض حول تفاصيل الية السيطرة على الماء المكتسب ، فهي تزداد بزيادة طرح الجسم للماء وتقل بقلة طرحه ايضا ، وبشكل عام فانها تاخذ النحو الاتي :

عندما يبدأ الجفاف بالتطور تقل افرازات اللعاب مسببة شعوراً بجفاف الفم والاحساس بالعطش ، يشرب حينئذ الفرد الماء ، ليجعل الماء المكتسب معادلاً للماء المفقود ، وهذا يميل الى حفظ توازن السوائل . اما في حالة عدم تناول الماء لعدة ايام مثلاً ، فلا يبقى هناك توازن للسوائل على الرغم من كل جهود اليات التنظيم الداخلي لمعادلة هذه الحالة ، لهذا كانت الطريقة الوحيدة لابقاء حالة توازن السوائل هي ان لا يحدث اي فقدان في السوائل الجسمية وهذا لا يمكن التحكم به حيث ان بعض الفقدان يكون اجبارياً عن طريق التنفس (بواسطة هواء الزفير) والانتشار (بواسطة الجلد) .

الية التوازن الداخلي لانتشار السوائل والكهارل :

على الرغم من ان السوائل الجسمية تحتل 3 مناطق مختلفة في الجسم هي داخل الخلايا ، وما بين الخلايا ، والاوعية الدموية الا ان هذه السوائل تعد من الناحية الوظيفية سائلين احدهما يقع في خارج الخلايا (البلازما والسائل البيني) Extracellular Fluid ، والاخر يقع في داخلها Intracellular Fluid .

يكون السائل في داخل الخلايا اكبر حجما من حجم السائل البيني ، بينما يكون اصغر حجم يتمثل في بلازما الدم ، ففي الانسان معتدل العمر يزن 70 كغم ، يشكل السائل في داخل الخلايا 40% من وزن الجسم ، والسائل البيني 16 % ، بينما تشكل بلازما الدم 4% . الا ان محتوى الجسم من السوائل الجسمية يتغاير تبعاً للمحتوى الدهني Fat في الجسم ، فالاشخاص ذو الاجسام البدينة يمتلكون محتوى مائي اقل من النحفاء ، وتمتلك النساء محتوى مائي اقل مما هو في الرجال بسبب النسبة العالية للشحم في اجسامهن .

يتغاير حجم السائل وانتشاره في الجسم ايضا تبعا للعمر ، فيقل المحتوى المائي كلما كبر الانسان في العمر ، كما يكون حجم السائل في خارج الخلايا في الاطفال حديثي الولادة والصغار اكبر مما هو عليه في البالغين .

اما توازن انتشار الكهارل Electrolytes فيعتمد على تاينها الى كهارل موجبة Cation وكهارل سالبة Anions ومن الايونات الموجبة المهمة ، الصوديوم Na^{++} والكالسيوم Ca^{++} والبوتاسيوم K^{+} والمغنيسوم Mg^{++} . اما الايونات السالبة المهمة فتشمل الكلور Cl^{-} والبيكربونات $HCO3^{-}$ والفوسفات $HPO4^{--}$وبروتينات عديدة . وتلعب هذه الكهارل مجتمعة دورا كبيرا في توازن السوائل الجسمية وفي التوازن الحامضي – القاعدي Acid – Base Balance في الجسم . ولا تعتمد الفعاليات الفسيولوجية لهذه الكهارل او الشوارد على عدد الذرات الجزيئية فقط بل على العدد الكلي للشحنات الايونية ايضا.

حركة الماء والكهارل بين البلازما والسائل البيني :

وضع العالم ستارلنك عام 1923 فرضية تنص (ان السيطرة على حركة الماء بين البلازما والسائل البيني تتم عبر اغشية الشعيرات الدموية) ، واستنادا الى هذه الفرضية التي اصبحت قانونا يعرف بقانون الشعيرات الدموية Law of Capillaries ، يتضمن هذا التبادل 4 انواع من الضغوط هي :

1- الضغط الهيدروستاتي للدم Body Hydrostatic pressure (BHP)
يعمل على اجبار السائل في الشعيرات الدموية للسير الى داخل السائل البيني .

2- الضغط الازموزي الغروي للدم Colloid Osmotic Pressure (BOP)
ويعمل على سحب السائل الى داخل الشعيرات الدموية مرة ثانية .

3- الضغط الهيدروستاتي للسائل البيني Interstitial fluid Hydrostatic Pressure (IFHP)
ويعمل على اجبار السائل البيني للسير الى داخل الشعيرات الدموية .

4- الضغط الازموزي الغروي للسائل البيني Interstitial Fluid Colloid Osmotic Pressure (IFOP)
ويعمل على سحب السائل الى خارج الشعيرات الدموية .

وبذلك يكون هناك ضغطين فاعلين باتجاه واحد وضغطين باتجاه مضاد ، والفرق بينهما يمثل ضغط الترشيح الكلي او الفعال .

وبذلك يمكن ان يكون قانون ستارلنك للشعيرات الدموية كما يأتي :

(يتحقق معدل واتجاه تبادل السائل بين الشعيرات الدموية والسائل البيني بوساطة الضغوط الهيدروستاتية والغروية للسائلين)

Effective Filtration Pressure (EFP) = (BOP + IFHP) - (IFOP + BHP)

*يمثل (EFP) ضغط الترشيح الفعال .

ان بعض المبادئ الاساسية لهذا الانتقال تتلخص بما ياتي :

1- لا يحدث انتقال للماء بين الدم والسائل البيني عندما يكون EFP = صفر
2- يحدث انتقال كلي للماء بين الدم والسائل البيني عندما لا يساوي EFP صفرا .
3- ينتقل الماء من خارج الدم الى داخل السائل البيني عندما يكون IFHP + BOP < BHP + IFOP
4- ينتقل الماء من خارج السائل البيني الى الدم عندما يكون BHP + IFOP < IFHP + BOP

ويتم التوازن المائي بين هذين السائلين في ظروف يكون فيها :

(ضغط الدم الهيدروستاتي + الضغط الازموزي الغروي للسائل البيني) - (الضغط الازموزي الغروي للدم + الضغط الهيدروستاتي للسائل البيني) = صفر

*(اوفي هذه الحالة تترشح كميات متساوية من الماء الى خارج الدم باتجاه السائل البيني وتعود ازموزيا الى الدم من السائل البيني)

حركة الماء والكهارل خلال اغشية الخلية بين السائل البيني والسائل داخل الخلايا :

الية هذه الحركة تشبه الية حركة الماء عبر اغشية الشعيرات الدموية ، اي ان الضغط الهيدروستاتي والازموزي للسائل البيني والسائل داخل الخلايا تنظم انتقال الماء بين هذين السائلين ، ولما كانت الضغوط الازموزية للسائل البيني والسائل داخل الخلايا تتغاير اكثر من ضغوطهما الهيدروستاتية لذا فأن ضغوطهما الازموزية تعمل بوصفها منظمات اساسية لانتقال الماء عبر الاغشية وهذا يرجع الى التدرجات التركيزية للكهارل وبخاصة الصوديوم والبوتاسيوم عبر اغشية الخلية .

وان معظم صوديوم الجسم يكون في خارج الخلايا (في السائل البيني) اما الالكتروليت الرئيس في السائل داخل الخلايا فهو البوتاسيوم . لهذا يسبب تغير تراكيز الصوديوم والبوتاسيوم في اي من هذين السائلين تبادلا بينهما .

فمثلاً / يعمل النقصان في تركيز الصوديوم في السائل البيني على خفض ضغطه الازموزي ويجعله مخففاً (Hypotonic) نسبة الى الضغط الازموزي للسائل داخل الخلايا اي يحدث تدرج في الضغط الازموزي بين السائلين وهذا يسبب نفوذية السائل البيني الى داخل الخلايا .

ويعتمد التركيز الاعتيادي للصوديوم في السائل البيني وتركيز البوتاسيوم في السائل داخل الخلايا على عدة عوامل اهمها :

1- كمية الهرمون المانع للتبول ADH المفرز
2- كمية الالدوستيرون Aldosterone المفرز

حيث ينظم ADH تركيز الكهارل او الايونات في السائل خارج الخلايا والضغط الازموزي بوساطة تنظيم امتصاص الماء الى داخل الدم من قبل النبيبات الكلوية Renal tubule .

اما الالدوستيرون فينظم حجم السائل خارج الخلايا بتنظيمه لاعادة امتصاص الصوديوم الى داخل الدم من قبل نبيبات الكلية .

و بالنسبة لاهم الكهارل السالبة اهمية فهو الكلور Cl^- الذي يرتبط غالبا مع الصوديوم واللذان يهيأن معا سائلا متعادلا خارج الخلايا .

التوازن الحامضي – القاعدي Acid – Base Balance

هو احد اليات التنظيم الداخلي المهمة ، ويشير هذا الاصطلاح الى تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول حيث ان اي حيود ولو كان بسيطاً لمعدل الاس الهيدروجيني PH ينتج عنه تغيرات مميتة في الفعاليات الايضية، لذلك يعد التنظيم الدقيق للحموضة في المستوى الخلوي ضروري جداً .

ويعرف الاس الهيدروجيني PH بانه اللوغارتيم السالب لتركيز ايونات الهيدروجين ، فكلما أزدادت ايونات الهيدروجين انخفض الاس الهيدروجيني واصبح المحلول اكثر حامضية .

ويكون الاس الهيدروجيني متعادلا (اي تساوي ايونات H^+ مع OH^-) عندما يساوي 7 (للماء النقي)، واذا كان اقل من 7 اشار الى الحامضية (ايونات H^+ اكثر من OH^-) واكثر من 7 فانه يعني القاعدية (OH^- اكثر من H^+) علما ان الاس الهيدروجيني PH يعبر عنه عدديا بمدى لوغارتمي من 1-14 ، هذا وان الاس الهيدروجيني الطبيعي للدم يتراوح بين (PH = 7.35 – 7.45) للدم الشرياني و (7.31 – 7.41) للدم الوريدي .

تنتج الزيادة الطفيفة في الاس الهيدروجيني للدم الوريدي (PH : 7.36) مقارنة بالاس الهيدروجيني للدم الشرياني (PH : 7.40) من دخول CO_2 المتكون من عملية الايض الخلوي ، وتزيل الرئتان ما يكافئ 30 لتر من حامض الكربونيك الاعتيادي من الدم الوريدي كل يوم بطرح CO_2 ، ولهذا يحتوي اللتر الواحد من الدم الوريدي على حوالي 1/ 100000000 غم من ايونات الهيدروجين اكثر من اللتر الواحد من الدم الشرياني .

اليات السيطرة على الاس الهيدروجيني PH

لكي يبقى الاس الهيدروجيني للدم ثابتا ، لابد للحوامض والقواعد التي تدخل الدم نتيجة امتصاص وهدم الغذاء ان تعاني نوعا من اليات التعادل او اليات طرحها الى الخارج ، وهذه الاليات تتم عن طريق :

1- الالية الدارئة للسيطرة على الاس الهيدروجيني PH للسوائل الجسمية

المادة الدارئة : هي التي تمنع التغيرات الكبيرة في الاس الهيدروجيني لمحلول عندما تضاف قاعدة او حامض فمثلاً اذا اضيف كمية قليلة من حامض قوي كحامض الهيدروكلوريك HCL الى محلول يحتوي على مادة دارئة مثل الدم فان الاس الهيدروجيني ينخفض الى PH : 7.27 اما اذا اضيفت نفس الكمية من الحامض الى ماء نقي لا يحتوي على مادة دارئة فأن الاس الهيدروجيني ينخفض بشكل كبير جداً (من 7 الى 3.4)

ومن حيث التراكيب الكيمياوية تحتوي المادة الدارئة على نوعين من المواد تدعى بالازواج الدارئة Buffer pairs ومن الامثلة على هذه الازواج :

أ- البيكربونات $\frac{NaHCO_3}{H_2CO_3}$ و $\frac{KHCO_3}{H_2CO_3}$

ب- بروتين البلازما $\frac{Na.Proteinate}{Proteins}$ (حامض ضعيف)

ت- الهيموكلوبين $\frac{K.Hb}{Hb}$. $\frac{K.HbO_2}{Hbo_2}$ (حيث ان كل من Hb وHbO2 حوامض ضعيفة)

ث- الفوسفات الدارئة $\frac{Na_2HPO_4}{NaH_2PO_4}$ (فوسفات قاعدية / فوسفات حامضية) و $\frac{K_2HPO_4}{KH_2PO_4}$ (فوسفات قاعدية / فوسفات حامضية)

حيث تتفاعل المواد الدارئة مع حامض قوي نسبيا او قاعدة لتستبدله بحامض ضعيف او قاعدة وبذلك تحافظ المواد الدارئة على عدم حدوث تغيرات كبيرة في الاس الهيدروجيني للدم ، فمثلا يتكون CO_2 ومنتوجات حامضية اخرى نتيجة الايض الخلوي التي تتفاعل مع الماء بوجود خميرة الكاربونيك انهيدريز لتكون حامض الكربونيك داخل كريات

الدم الحمراء لذا يكون ملح البوتاسيوم مادة دارئة لحامض الكربونيك والذي يوجد في هيموكلوبين خلايا الدم الحمراء نفسها .

2- الالية التنفسية للسيطرة على الاس الهيدروجيني PH

يلعب التنفس دورا حيويا في السيطرة على الاس الهيدروجيني فعند كل زفير يغادر CO_2 والماء الجسم مع الهواء ، حيث يكون مصدر CO_2 من الدم الوريدي خلال انتشاره من الاوعية الدموية الشعرية في الرئة . اضافة الى ان كمية قليلة منه تبقى في الدم الشرياني يكون مصدرها الاوعية الدموية الشعرية في الرئة ويقلل الضغط الواطئ لـ CO_2 في الدم الشرياني كمية حامض الكربونيك وعدد ايونات الهيدروجين التي من الممكن ان تتكون في كريات الدم الحمر بحسب التفاعلات الاتية :

$$CO_2 + H_2O \xrightleftharpoons{carbonic\ anhydrase} H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

ولابقاء الاس الهيدروجيني ثابتا هناك الية تعمل على زيادة او تقليل عملية التنفس وبحسب حاجة الجسم ، فاذا قل الاس الهيدروجيني للدم ازداد تركيز ايونات الهيدروجين ولهذا يجب ان يزداد التنفس كي يتم طرح اكبر ما يمكن من CO_2 تاركا كمية قليلة من حامض الكربونيك والقليل من ايونات H^+ في الدم .

هناك الية واحدة لتنظيم كمية CO_2 والاس الهيدروجيني في الدم الشرياني تعتمد على المركز التنفسي Respiratory center وتكون حساسة لتغيرات كل من CO_2 والاس الهيدروجيني فاذا ازدادت كمية CO_2 في الدم الشرياني الى حد معين او اذا نقص الاس الهيدروجيني فان هذا المركز يتحسس مسبباً زيادة في التنفس من حيث المعدل والعمق طارحا بذلك CO_2 ومخفظا حامض الكربونيك وايونات الهيدروجين وبذلك يزداد الاس الهيدروجيني حتى يصل الى الحد الطبيعي .

وتلعب الاقواس الانعكاسية الكيمياوية دورا ايضا في عملية التنظيم هذه ، ان النقصان في الاس الهيدروجيني للدم تحت الحد الطبيعي يدعى حماض Acidosis ويميل الى تحفيز فرط التهوية Hyperventilation التي تعمل على عودة الاس الهيدروجيني مرة اخرى للحد الطبيعي ، كما ان استمرار فرط التهوية مدة طويلة سوف يزيد الاس الهيدروجيني للدم مما يؤدي الى القلاء alkalosis الذي يسبب او ينتج عنه نقص التهوية Hypoventilation الذي يكون الية تعويضية للقلاء بخفض الاس الهيدروجيني للدم الى الحد الطبيعي .

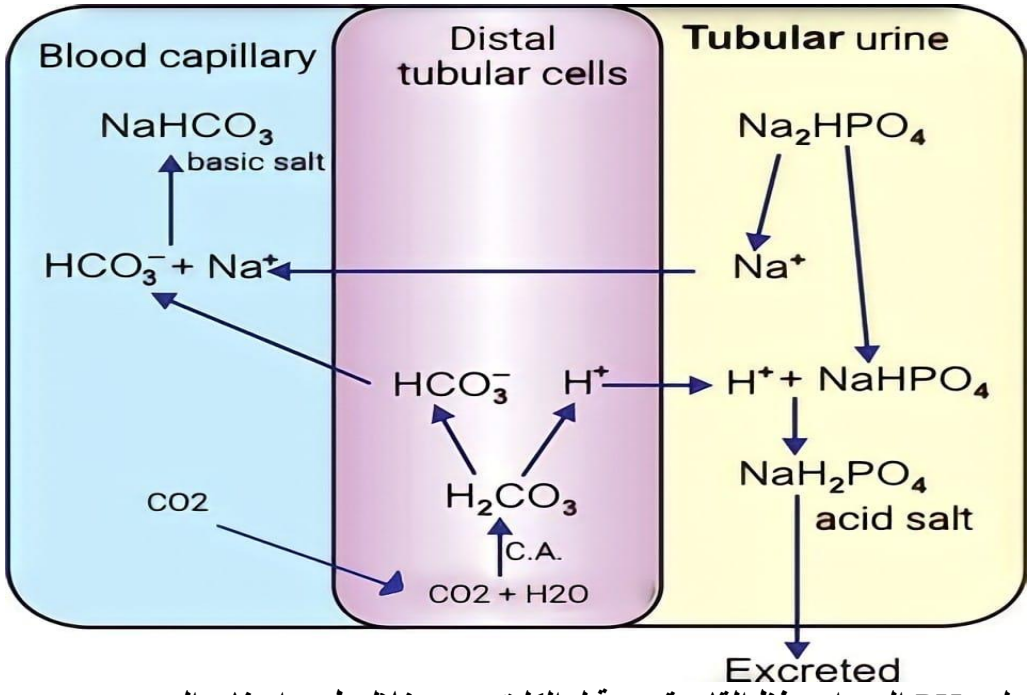
ويقلل نقص التهوية المستمر فترة طويلة الاس الهيدروجيني للدم الى حد حدوث الحماض ايضا.

Acidosis ☹☹
↓
Hyperventilation
↓
زيادة طرح CO_2
↓
يقل مستوى CO_2 في الدم
↓
يقل H_2CO_3 في الدم
↓
تقل ايونات الهيدروجين في الدم H^+
(زيادة الاس الهيدروجيني للدم)
↓
عودة الاس الهيدروجيني الى الحالة الاعتيادية
😊😊

3- الية سيطرة الكليتين على الاس الهيدروجيني PH :

تلعب الكلية دورا حيويا مهما في السيطرة على الاس الهيدروجيني ، اذ توفر الكلية عدد من ايونات الهيدروجين للتبادل واعادة امتصاص عدد من ايونات الصوديوم فتتحكم في الاس الهيدروجيني ومن ثم تسهم في السيطرة على الاس الهيدروجيني للدم .

فعند نقص الاس الهيدروجيني للدم (حموضة الدم) تحت الحد الطبيعي ، تطرح نبيبات الكلية عدد كبير من ايونات الهيدروجين من الدم الى البول وتقوم مقابل كل ايون هيدروجين باعادة امتصاص ايون الصوديوم من البول الى الدم مرة اخرى وهذا يخفض الاس الهيدروجيني للبول وفي الوقت نفسه يزيد الاس الهيدروجيني للدم مرة اخرى نحو الحد الطبيعي .



الحفاظ على PH الدم او حفظ القاعدة من قبل الكليتين من خلال طرح ايونات الهيدروجـــين مع البول (حموضة البول)

ان عدم انتظام اي الية من الاليات الثلاثة (الدارئة والتنفس والكلية) يجعل الجسم في حالة عــدم التـــوازن الحامضي – القاعدي.

ان الية التبادل الايوني الحادثة في النبيبات الكلوية نتيجة نقص الاس الهيدروجيني للدم تشمل حامضية البول والمحافظة على قاعدية الدم اللتين تؤديان الى زيادة الاس الهيدروجيني للدم الى الحد الاعتيادي ، والي تتم كالاتي :

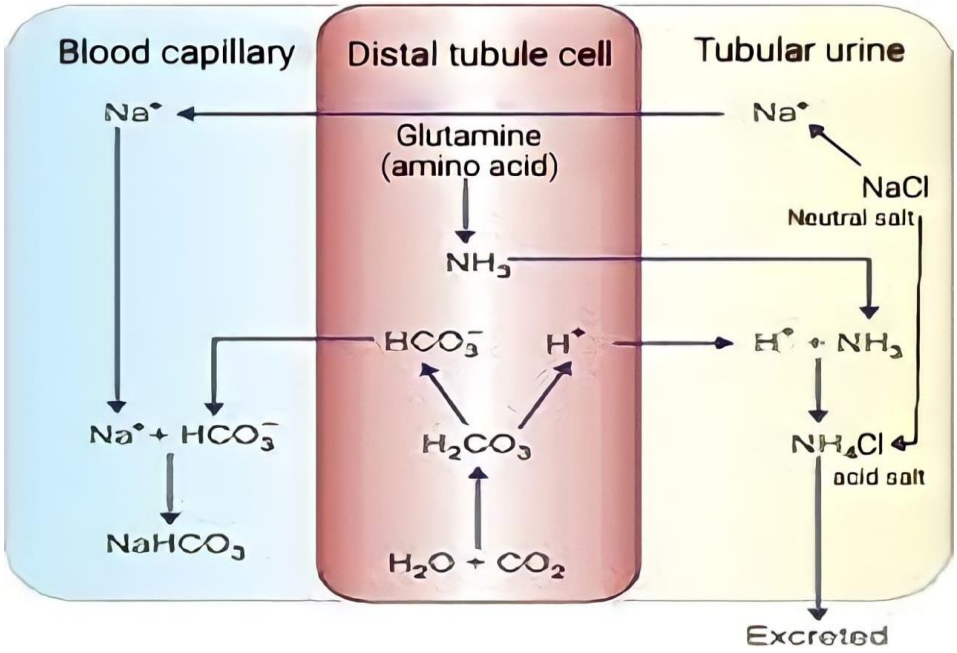
أ- افراز النبيبات الملتوية البعيدة والنبيبات الجامعة للكلية ايونات الهيدروجين الى داخل البول بتبادل مع الايونات القاعدية التي يعاد امتصاصها (ايونات الصوديوم) .

- **ينتشر CO2 من النبيبات الشعرية الى داخل خلايا النبيبات البعيدة**
- **تعمل خميرة الكربونيك اللامائية على ارتباط CO2 بالماء لتكوين حامض الكربونيك ، والاخير يتحلل الى ايونات الهيدروجين وايونات البيكربونات داخل النبيبات الملتوية البعيدة**
- **وبعملية الانتشار تمر ايونات الهيدروجين الى البول وتزيح ايونات Na^+ من الملح القاعدي(Na2HPO4) لتكوين ملح حامضي (NaH2PO4) يطرح في البول (زيادة حامضية البول)**

- خلال ذلك تنتشر ايونات الصوديوم او الايونات القاعدية الاخرى الى داخل خلايا النبيبات وترتبط بايونات البيكاربونات مكونة بيكربونات الصوديوم NaHCO3 والتي يعاد امتصاصها الى الدم (ترفع بذلك قاعدية الدم او الاس الهيدروجيني للدم) .
- وباختصار ان اعادة امتصاص قاعدة البيكربونات في نبيبات الكلية وطرح ايونا ت الهيدروجين تؤدي الى قلوية الدم بوساطة زيادة حامضية البول .
- يمكن لنبيبات الكلية طرح الهيدروجين او البوتاسيوم بدلا عن الصوديوم المعاد امتصاصه وكلما ازداد طرح ايونات الهيدروجين قل طرح ايونات البوتاسيوم ففي حالة الحماض يزداد طرح ايونات الهيدروجين بشكل كبير ويقل طرح البوتاسيوم مما يؤدي الى حدوث حالة زيادة بوتاسيوم الدم Hyperpotassemia التي تعد حالة خطرة تسبب تعطل القلب ثم الوفاة .

ب- طرح الامونيا الى البول بوساطة النبيبات الملتوية البعيدة والنبيبات الجامعة

حيث ترتبط الامونيا NH3 بالهيدروجين H^+ لتكوين ايونات الامونيوم $NH4^+$ التي تزيح الصوديوم او الايونات القاعدية من ملح مثل NaCl او حامض غير متطاير لتكوين املاح الامونيوم (NH4Cl) وتنتشر ايونات الصوديوم الى خلايا النبيبات لترتبط مع البيكربونات لتكوين ملح قاعدي NaHCO3 وهذا بدوره ينتشر الى داخل انابيب الدم (وبذلك تزداد قاعدية الدم او الاس الهيدروجيني للدم)



حموضة البول بواسطة طرح النبيب البولي للامونيا مقابل اعادة امتصاص بيكربونات الصوديوم من خلايا النبيب الكلوي البعيد الى الدم

الجهاز البولي The Urinary system

يتكون الجهاز البولي للانسان من التراكيب الاتية :

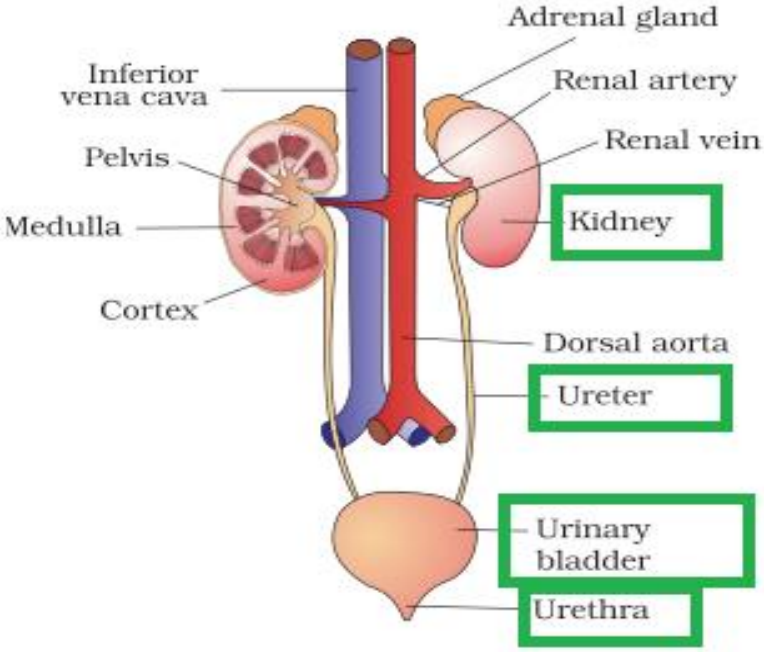
1- الكلية Kidney 2- الحالب Ureters 3- المثانة Bladder 4- الاحليل Urethra

الكلية Kidney

تشبه كلية الانسان حبة الفاصوليا في الشكل ، من ناحية الحجم يبلغ طولها 11.5 سم وعرضها 5-7.5 سم والثخن او السمك 2.5 سم . وتكون حجم الكلية اليسرى اكبر بقليل من اليمنى .

تقع الكليتان خلف اخلب الجداري Parietal Peritoneum وعلى جانبي العمود الفقري وتمتدان من مستوى الفقرة الصدرية الاخيرة الى الفقرة القطنية الثالثة ، وتنخفض الكلية اليمنى في موقعها قليلا عن اليسرى بسبب اشغال الكبد لجزء من الفراغ فوقها وهناك كمية من الدهون تغلف الكلى وتجعلها ثابتة في موقعها على الرغم من ان بعض النحفاء يعانون من تدلي واحدة او كلتيهما معا اضافة الى ذلك هناك نسيج رابط يعمل على ربط الكليتين بالاعضاء المحيطة .

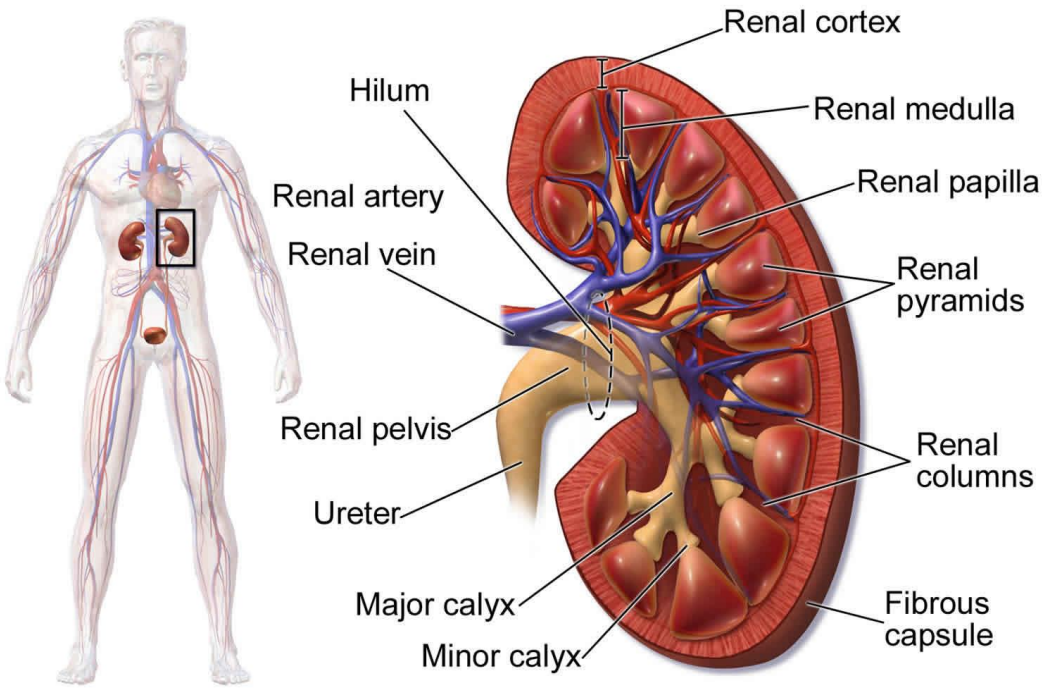
يمثل السطح الوسطي لكل كلية تقعرا يدعى النقير Hilum حيث تدخل التراكيب الاخرى (الاوعية الدموية المتمثلة بالشرايين والاوردة الكلوية والاعصاب والحالب) الى داخل الكلية عبر هذا الجزء .



(الجهاز البولي في الانسان)

ومن الناحية التركيبية تتكون الكلية من جزء خارجي يدعى القشرة Cortex وجزء داخلي يدعى اللب Medulla الذي يبدو مكونا من عدد من الاوتاد الثلاثية الجوانب بهيئة اهرامات تملا اللب وتواجه القاعدة العريضة لكل هرم القشرة بينما تتجه حافتهه الضيقة التي تسمى الحلمة papilla نحو حوض الكلية pelvis او الكاس Calyx .

ويلاحظ ان القشرة تنغمر بين كل هرمين مكونة ما يسمى بالاعمدة الكلوية Renal Column ويتصف الهرم الواحد بالشكل المخطط على عكس النسيج الصقيل لمادة القشرة .



Kidney Anatomy

(مقطع طولي في الكلية)

التركيب المجهري Microscopic structure

تدعى التراكيب المجهرية في الكلى بالنفرونات (مفرده نفرون Nephron) التي يبلغ عددها حوالي 1.25 مليون في كل كلية ، وهو عبارة عن قمع دقيق له ساق طويلة جدا كثيرة الالتواءات ، اما اجزاء النفرون هي :

1- علبة بومان Bowman's Capsules

وهي فم النفرون الشبيه بالكاس ويتكون من شبكة من الاوعية الدموية الشعرية تدعى الكبيبة Glomerulus التي تعد من اهم الشبكات الشعرية لبقاء الكائن الحي ، وتسمى الكبيبة وعلبتها (علبة بومان) معا بالكريات الكلوية Renal Corpuscles حيث تقع هذه الكريات في قشرة الكلية وتمتلك مثل بقية الاوعية الشعرية جدرانا رقيقة جدا مكونة من طبقة واحدة من الخلايا تحتوي على الكثير من الثغور.

تكون طبقات الانسجة المختلفة المكونة لعلبة بومان (الطبقة الجدارية الاندوثيلية parietal layer والغشاء القاعدي basement membrane والطبقة الحشوية visceral layer) والتراكيب الاخرى الملحقة بها بشكل عام تركيبا مناسبا جدا لاداء وظيفة الترشيح filtration والذي يدعى الغشاء العلبي – الكبيبي glomerular – capsular membrane

2- النبيب الملتوي القريب Proximal convoluted tubule

ويعد الجزء الثاني من النفرون والاول من نبيبات الكلية ، اي انه الجزء القريب من محفظة بومان ويتميز بكثرة التواءاته التي تقع في قشرة الكلية

3- عروة هنلي Loop of Henle

وتاتي بعد النبيبات القريبة وتكون بهيئة حرف U ، وتتكون من طرفين احدهما الطرف النازل Descending Limb والاخر الطرف الصاعد Ascending limb ويكون الجزء النحيف من الطرف النازل في قاعدة الحرف U بينما يكون سميكا عند الطرف الصاعد

4- النبيب الملتوي البعيد Distal Convoluted tubule

وهو الجزء الملتوي من النبيب والواقع بعيدا عن محفظة بومان الذي يتصل بالطرف الصاعد من عروة هنلي .

5- النبيب الجامع Collecting tubule

وهو النبيب المستقيم الذي يربط عددا من النبيبات البعيدة لعدة نفرونات والنبيبات الجامعة تربط نبيبات اكبر وجميعها (النبيبات الجامعة الكبيرة) لكل هرم كلوي واحد تكون انبوبا واحدا يفتح في الحلمة الكلوية في واحد من تجاويف الكلية الصغيرة .

وتقع محفظة بومان وكلا النبيبات الملتوية في قشرة الكلية بينما تقع عروة هنلي والنبيبات الجامعة في منطقة اللب يجري في الكلية حوالي 1200 ملم ^{3} من الدم لكل دقيقة ، اي خمس الدم الذي يضخه القلب في الدقيقة الواحدة . فهناك وعاء دموي كبير يدعى الشريان الكلوي Renal artery الذي هو فرع للشريان الابهر البطني ، يجلب الدم الى كل كلية ، والذي بدوره بين اهرامات لب الكلية مكونا شرايين بين الفصيصات تمتد الى الخارج باتجاه القشرة حيث تشكل اقواسا فوق قاعدة هذه الاهرامات ومنها تنفذ الشرايين بين الفصيصات الى داخل القشرة ، اما فروع هذه الشرايين الواقعة بين الفصيصات فتدعى بالشرينات الواردة Afferent arterioles وتتفرع هذه الشرينات بدورها مكونة شبكة شعيرية تدعى الكبيبة Glomerulus .

يترك الدم الاوعية الشعرية للكبيبة ويجري الى داخل شرينات صادرة Efferent arterioles ومن هذه الشرينات الصادرة يسير الدم باوعية دموية شعرية قبل ان يصب في الوريدات ، اما بقية الاوعية الدموية التي تسمى الشبكة الوعائية Vasa recta التي تشبه عروة هنلي فتلعب دورا مهما في تكوين البول ، ومن التراكيب الوعائية المهمة ايضا جهاز قرب الكلية Juxtaglomerular وهو تركيب صغير له دور في عملية التنظيم الداخلي Homeostasis

وظائف الكلية :

ان الوظيفة الاساسية للكلية هي طرح البول وهي مهمة لادامة الحياة حيث تعتمد عليها عملية التنظيم الداخلي ، وتعد الجزء الاساسي في حالة ابقاء حالة توازن بين السوائل والكهارل والتوازن الحامضي – القاعدي ، ويتم عن طريق تغيير كميات الماء والكهارل التي تترك الدم الى البول والتي تساوي الكميات الداخلة اليه عبر الاوردة بالاضافة الى ان الفضلات النايتروجينية الحاصلة من ايض البروتينات تترك الدم عن طريق الكلية ايضا ويعني توقف الكلية عن العمل توقف عملية التنظيم الداخلي للجسم .

وتؤثر الكلية ايضا في وظائف اخرى مثل معدل افراز الهرمون المانع للتبول Antidiuretic hormone والالدوستيرون Aldosterone وتقوم بصنع الارثروبويتن Erythropoietin والموثينات Prostaglandins .

يعد النفرون الوحدة الوظيفية في الكلية ويقوم بصنع البول بـ 3 وسائل هي الترشيح واعادة الامصاص والافراز .

1- الترشيح الكبيبي Glomerular filtration

- تعد الخطوة الاولى في عملية الترشيح وتبدا من دخول الدم الى الاوعية الدموية الشعرية ، حيث يترشح الماء والاملاح من الدم الى داخل علبة بومان ويتم ذلك عبر اغشية الشبكة الكبيبية (المكونة من صف واحد من خلايا اندوثيلية تستند على غشاء قاعدي والطبقة الحشوية لعلبة بومان) ، وفق تدرج الضغط.

- ان العمل الرئيسي في تكوين تدرج الضغط بين الدم في الكبيبة والترشيح الى علبة بومان فهو الضغط الهيدروستاتي Hydrostatic pressure لدم الكبيبة الدموية ، اما الترشيح بالاتجاه المعاكس فينتج من الضغط الازموزي لدم الكبيبة Osmotic pressure + الضغط الهيدروستاتي للترشيح الحاصل في العلبة ، وبذلك يكون :

ضغط الترشيح الفعال الكلي = الضغط الهيدروستاتي الكبيبي – (الضغط الازموزي الكبيبي + الضغط الهيدروستاتي للعلبة) .

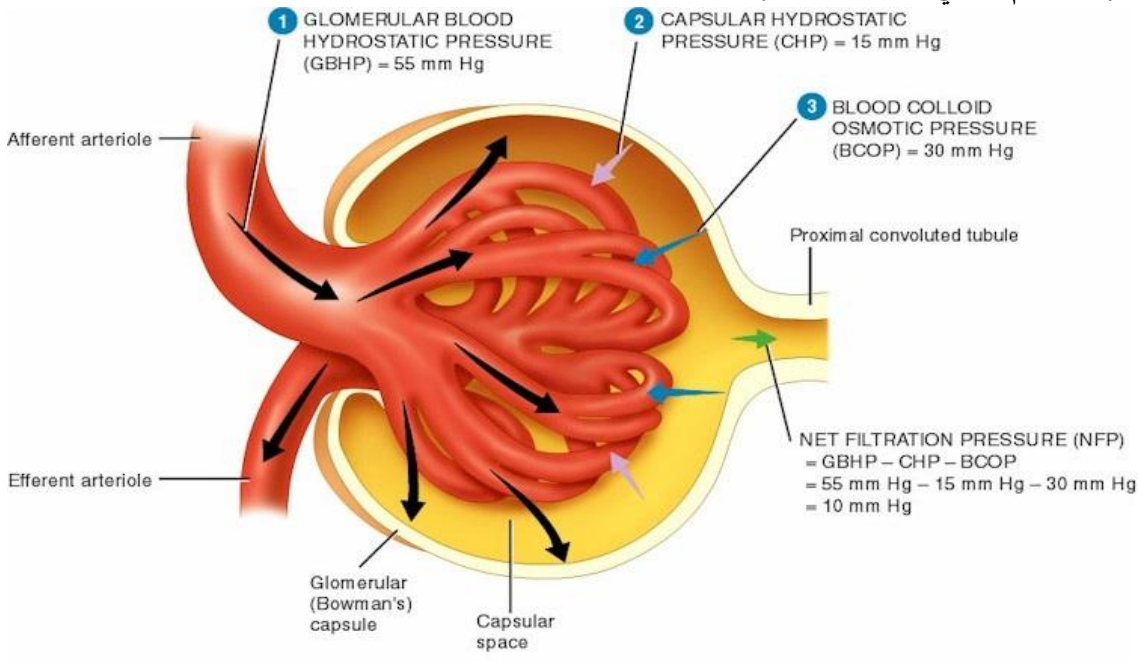
فمثلاً اذا كان الضغط الهيدروستاتي الكبيبي = 55 ملم . ز ، والضغط الازموزي الكبيبي =30 ملم . ز ، والضغط الهيدروستاتي للعلبة = 15 ملم . ز

فان ضغط الترشيح الفعال الكلي = 55 - (30 + 15) = 10 ملم . ز

هذا وان كل 1 ملم . ز من الضغط الترشيح الفعال ينتج منه معدل ترشيح كبيبي يعادل 12.5 ملم^3 / دقيقة من قبل الكليتين . ويكون الترشيح اكثر سرعة في الكبيبة مما هو عليه في الاوعية الشعرية وذلك يعود الى تركيب الطبقة الاندوثيلية لجدران الكبيبة حيث تحتوي على ثغور كثيرة جدا تجعلها اكثر نفوذية اضافة الى ارتفاع الضغط الهيدروستاتي في الكبيبة ، وسبب ارتفاع هذا الضغط هو الاقطار الصغيرة للشرينات الصادرة Efferent Arterioles قياسا باقطار الشرينات الواردة وهذا يولد مقاومة كبيرة لمرور الدم من خارج الكبيبة وهو عكس مايحدث بالنسبة للشعيرات الدموية . ومن العوامل المؤثرة في الترشيح الكبيبي تغير اقطار الشرينات الصادرة والواردة وتغيرات ضغط الدم الجهازي ، ففي حالة التوتر مثلا يزداد التحفيز الودي للشرينات مسببا زيادة كبيرة في تضييق الشرينات الوارة قياسا بالصادرة فينخفض الضغط الهيدروستاتي الكبيبي ، وفي الحالات الشديدة لا يحدث ترشح كبيبي فتتوقف الكلية وبذلك يحدث احتباس البول .

ملاحظة / * تحت القوة الدافعة للترشيح (ضغط الترشيح الفعال الكلي) تخترق جدران الاوعية الدموية الشعرية للكبيبة وجدران محفظة بومان جزيئات الماء وجميع المواد المذابة فيه عدى التي لها وزن جزيئي عالي كالبروتينات وكذلك خلايا الدم اذ يشبه هذا الراشح مصل الدم (عدا خلوه من البروتينات)

*يحتوي الراشح على كمية كبيرة من الكلوكوز وايونات الصوديوم والبوتاسيوم وغيرها من المواد المهمة التي لا يستغني عنها الجسم والتي يعاد امتصاصها من قبل جدران النبيبات البولية .



26.09

2- اعادة الامتصاص Reabsorption

أ- اعادة الامتصاص من قبل النبيبات الملتوية القريبة

وهي الخطوة الثانية في تكوين البول حيث تتم عن طريق النقل الفعال والنقل غير الفعال وعن طريق هذه النبيبات يتم اعادة امتصاص جزء من الماء وجميع المواد المغذية Nutrient والكهارل ويتم امتصاص ايونات الصوديوم في هذه النبيبات بانتشارها من الرشاحة في داخل النبيبات وعبر جدرانها الى داخل النبيبات الدموية بالية النقل الفعال Active transport اذ تحتاج العملية الى صرف طاقة وهنا تتوفر الكثير من المايتوكوندريا لذلك الغرض يصاحب ذلك تدرج تركيزي كهرو – كيميائي ، اما عملية امتصاص الماء فتعتمد على القوانين الازموزية .

ويعتمد امتصاص المواد المغذية مثل الكلوكوز والاحماض الامينية الى داخل الاوعية الدموية على نوع خاص من الية النقل الفعال يدعى Sodium Co – transport حيث تقوم ايونات الصوديوم بحمل هذه المواد الغذائية . وبهذه الالية يعود جميع الكلوكوز الى الدم الذي ترشحه الكبيبة دون خسارة منه في البول اما عند زيادة مستوى الكلوكوز فوق حد معين تبقى كمية منه في البول اي ان لهذه الالية قابلية محدودة لازالة الكلوكوز من الدم .

ب- اعادة الامتصاص من قبل عروة هنلي

يصل الطرف النازل من عروة هنلي عميقا الى داخل اللب ويوازيه بالقرب منه الاوعية الدموية الشعرية المسماة بالاوعية الشبكية Vasa recta ويعمل الاثنان بالية التيار المعاكس Counter current mechanism وتشمل هذه الالية حركة ايونات الكلور Cl^- بواسطة النقل الفعال من داخل الرشاحة في الطرف الصاعد الى داخل السائل البيني اللبي ويتحرك عدد مساو م نايونات الصوديوم الموجبة تابعة لايونات الكلور الى داخل اللب ولا يكون هناك اي جريان للماء حيث ان جدران الانبوب الصاعد غير منفذ للماء ، اما انتقال الاملاح من رشاحة النبيبات الى السائل البيني اللبي فتزيد من تركيزه الملحي Osmolality . اي ان التواء هنلي يعمل على الحفاظ على فرق الضغط الازموزي بين السائل الراشح والسائل النسيجي في منطقة اللب ، ويمكن تلخيص اعلاه بما ياتي :

الجزء النازل من التواء هنلي يتميز بنفاذيته العالية للماء مما يسمح بمرور الماء بحرية الى السائل النسيجي المحيط .كذلك فان الجزء النازل غير منفذ للاملاح والايونات الاخرى مما يسبب في بقاءها داخل رشاحة النبيبات وعدم خروجها .(ان الحفاظ على فرق التركيز على جانبي جدار التواء هنلي وذلك بازدياد تركيز الاملاح في السائل النسيجي على طول الجزء النازل من الالتواء من القشرة الى اللب يضمن استمرار خروج الماء من السائل الراشح الى السائل النسيجي)

الجزء الصاعد من التواء هنلي *ينفذ الاملاح وغير منفذ للماء اذ يتميز السائل الراشح داخل الجزء الصاعد بارتفاع تركيز الاملاح بسبب فقدانه الماء عند هبوطه في الالتواء .

*تبدأ الاملاح واهمها NaCl بالانتشار باتجاه السائل النسيجي مما يساعد في الحفاظ على فرق التركيز بين السائل الراشح والسائل النسيجي في منطقة اللب

ج- اعادة الامتصاص من قبل النبيبات الملتوية البعيدة والنبيبات الجامعة

تمتص النبيبات الملتوية البعيدة كما هو الحال في النبيبات القريبة ايونات الصوديوم ولكن بكميات قليلة تصل الى 0.1 كمية الصوديوم التي ترشحها الكبيبة .

وتقوم باعادة امتصاص الماء في حالة وجود الهرمون المانع للتبول ADH في الدم حيث يعمل على زيادة نفوذية جدران النبيبات الكلوية للماء وبهذا يتنافذ الماء من داخل هذه النبيبات الى السائل البيني (الذي يكون عالي التركيز

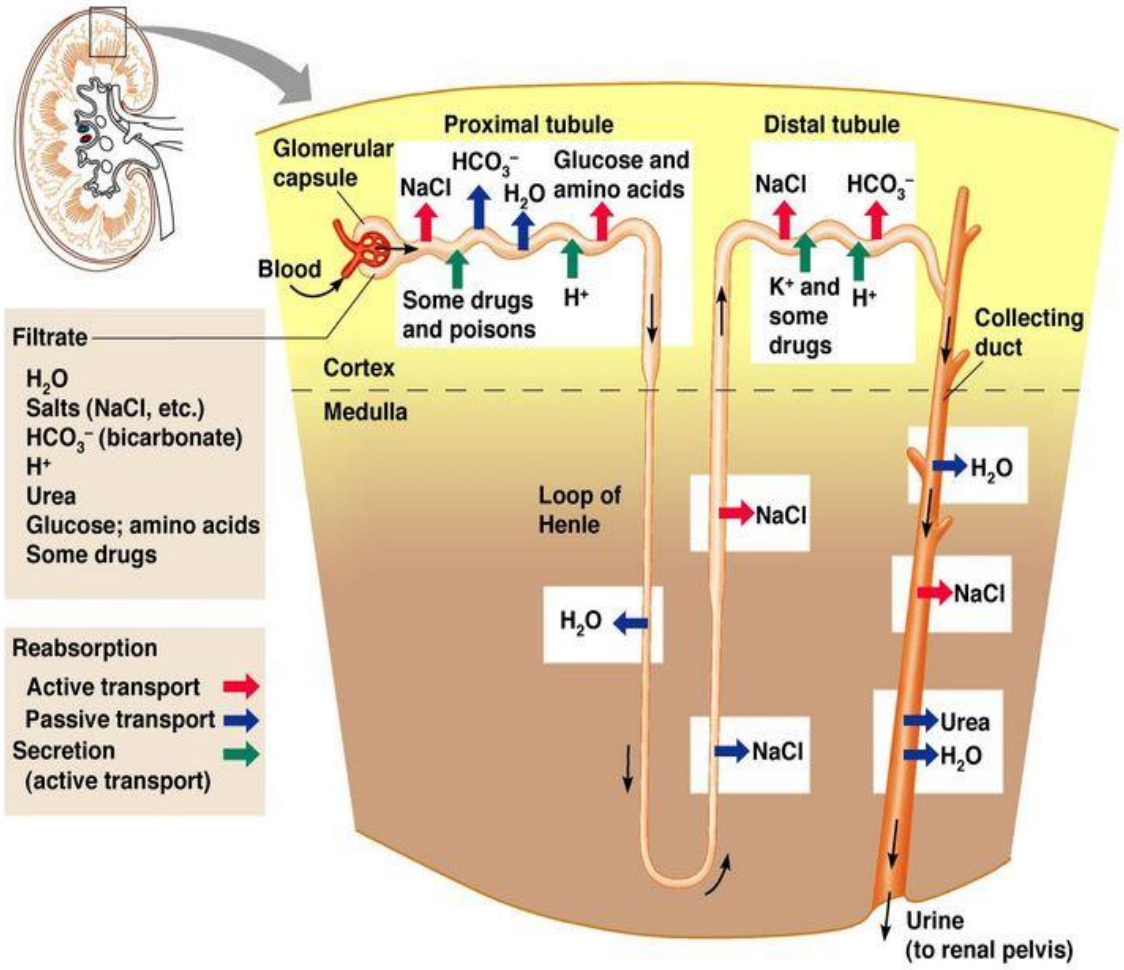
Hypertonic ويكون موجود في اللب) والى الدم في الشبكة الدموية الشعرية اذ يستمر هذا التنافذ الى حين حصول حالة التعادل الازموزي للبول والسائل البيني في اللب وبذلك تفرز كمية ضئيلة جدا من البول المركز. وتنعدم نفوذية النبيبات الملتوية البعيدة والنبيبات الجامعة للماء في حالة غياب الهرمون .

الافراز Secretion

الافراز هو النقل الفعال للايونات والمواد المختلفة من الدم عبر خلايا الانبوبة البولية الى تجويفها ، اذ يرافق عملية اعادة امتصاص الماء وبعض الشوارد من النبيباب البولية انتقال بعض المواد من الدم الى داخل النبيبات اي باتجاه معاكس ومن المواد التي يتم افرازها من النبيبات الملتوية البعيدة والنبيبات الجامعة البوتاسيوم والهيدروجين وايونات الامونيوم ويكون انتقالها فعالا بتبادلها مع ايونات الصوديوم المنشرة الى خارج النبيبات ويدعى مثل هذا الانتقال بالافراز النبيبي Tubular secretion .

ويزداد افراز ايونات البوتاسيوم بزيادة تركيز الالدوستيرون في الدم بينما يزداد افراز الهيدروجين عندما يزداد تركيزها في الدم ايضا اما بالنسبة لايونات الامونيوم فانها تفرز في داخل رشاحة النبيبات حيث تصنع هناك .

بالاضافة الى ذلك تفرز خلايا النبيبات بعض العقاقير مثل البنسلين وحامض امينوهبيورك اسد para aminohippuric acid .



Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.