

الباب الثاني عشر

النفاذية و الامتصاص
بالمناطق التشريحية بالجهاز الإخراجي

obeikandi.com

يتكون الجهاز الإخراجي بالفقاريات بصفة عامة من المناطق التشريحية التالية :

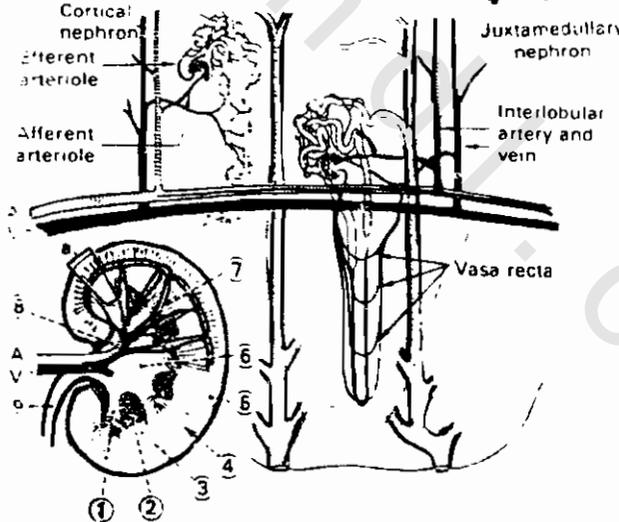
١- الكلية (Kidney) :

وهي العضو الوحيد بالجسم والمصمم لإخراج أغلب التواتج الثانوية (By-products) للتمثيل العادي و أغلب المواد الغريبة (Xenobiotics) كالسموم والملوثات البيئية القطبية والممثلة الهيدروفيلية (Hydrophilic metabolites) للسموم الليوفيلية والفضلات النيتروجينية كاليوريا وحمض البوليك .
ففي الظروف الطبيعية يمر حوالي ٢٠-٢٥% من دم ضخ القلب للكلية أي ما يعادل ١٢٠٠-١٣٠٠ ملل دم / دقيقة وهو ما يوازي ٦٦٠ ملل بلازما / دقيقة ، حيث يترشح ٢٠% من البلازما خلال الكبيبات بالكلية بسرعة ترشيح كبيبي تساوى ١٢٥ ملل / دقيقة وهو ما يعنى أن الحجم الكلى من الدم الدوراني يبلغ حوالي ستة لترات تمر من خلال القلب مرة كل ٤-٥ دقيقة وهذا المعدل من الدوران يخدم في إتجاهين :

- حيث يترشح الدم بمعدل عالي والذي يسمح بتحكم ثابت في تركيبة.
- يؤكد الإمداد الضخم أيضا إمداد موازى له بالأكسجين وهذا ضروري لأن خلايا الأنبيبات البولية تستهلك أكبر قدر من الأكسجين عن خلايا الجسم كله فتقريبا يمر ١٢٥٠ ملل من الدم خلال الكليتين / دقيقة حيث ١٢٥ ملل من الراشح تتكون من الكبيبات و ١٢٤ ملل منها يعاد امتصاصها .
وهنا لا بد وأن يأخذ الترشيح الكبيبي مكانة لأن الضغط الهيدروستاتيكي الصافي في الشعيرات الشريانية أعلى بكثير عنة في الأنبيبات (٢٥مم ز) وهنا يكون الراشح له نفس تركيب الجزينات الكبيرة ذات الكتلة الأكبر من ٧٠٠٠٠ دالتون والغير قادرة على المرور من الغشاء المرشح للشعيرات الكبيبية ولا تتخل في الراشح الكبيبي و يجب التنويه هنا بأن اختيارية الترشيح لا تأخذ مكاتها فقط بالنسبة لحجم الجزينات و لكن أيضا على أساس الشحنة الكهربية حيث توجد على خلايا الطلائية الداخلية مجموعات من الشحنات السالبة تلعب دورها هي أيضا في عملية الاختيارية فتتغذ كل الأيونات و الجزينات الصغيرة و الأليكتروليات وتعود البروتينات فقط للبلازما .
ويوجد بالجسم كليتان بالقرب من جدار البطن الخلفي ويجسائي العمود الفقري بالتجويف البطني أعلى الحوض ، شكل رقم (١٢-١) وتبلغ أبعادها

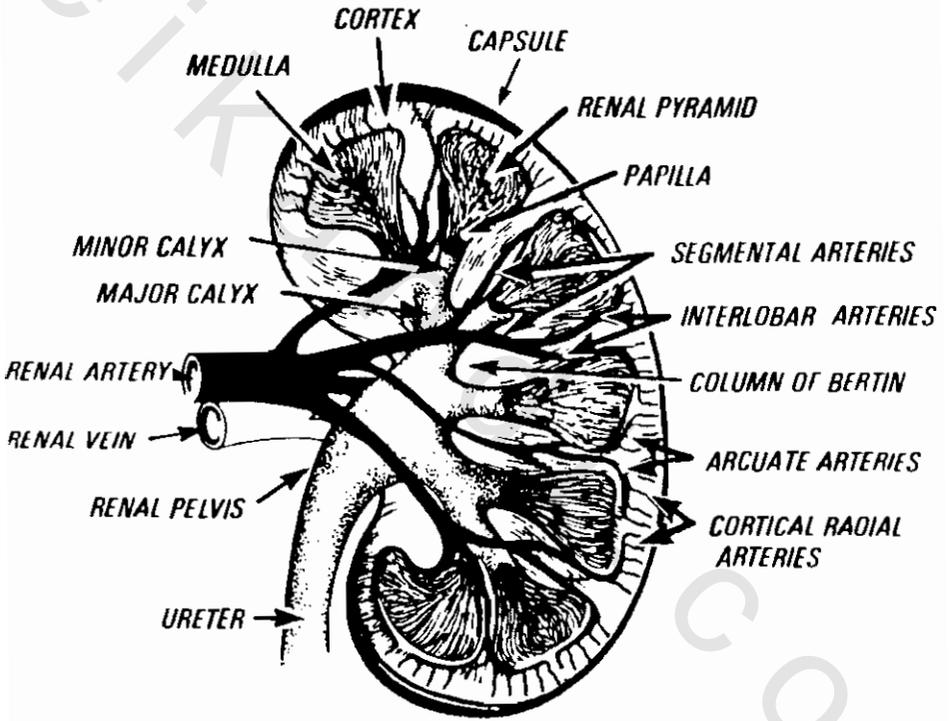
١٢x٦x٣سم يتصل من سطحها الداخلي الشريان الكلوي المتفرع من الأورطي ليتفرع بداخلها لشعيرات توزع بداخله الدم كذلك يدخلها الوريد الكلوي المتفرع لفروع بداخلها لتجمع الدم وتعود به من الكلية ليصب في الوريد الأجوف فالقلب بعد تخلصه من الفضلات الموجودة في الدم .

ويخرج من السطح الداخلي: الصرة للكلية الحالب (Ureter) شكل رقم (١٢-٢) وهو أنبوية عضلية بطول ٤٥ سم وتكمن في تجويف البطن والحوض و تتجه للأمام وتدخل المثانة من الخلف وسط العضلات والتي تعمل بمثابة صمام لايسمح برجوع البول ثانية . وعند إنقباض عضلات الحالب من أعلى لأسفل (ثلاث مرات لكل دقيقة) يندفع البول نقطة نقطة وبمعدل ١ملى / ثانية للمثانة وهي حويصلة عضلية مجوفة لاإرادية يفتح بها الحالبين من أعلى بينما تفتح من أسفل بفتحة مجرى البول الداخلية والتي تقود لقناة مجرى البول وهي قناة عضلية ليفية مخاطية بطول ٢٠ سم تفتح في القضيب بالذكور بينما بالإناث يصل طولها ٤سم وتفتح بفتحة البول الداخلية أسفل البظر (Clitoris) . والكلية عضو معقد تشريحياً ووظيفياً فهي تفرز الفضلات وتنظم أتران العناصر (Homeostatic) وتتحكم في الإليكتروليات و أتران الحمض - قاعدة (Acid - Base equilibrium) كما أنها أهم مناطق تكوين الهرمونات المؤثرة في الوظائف الأيضية الجهازية وكذلك المواد المحفزه .



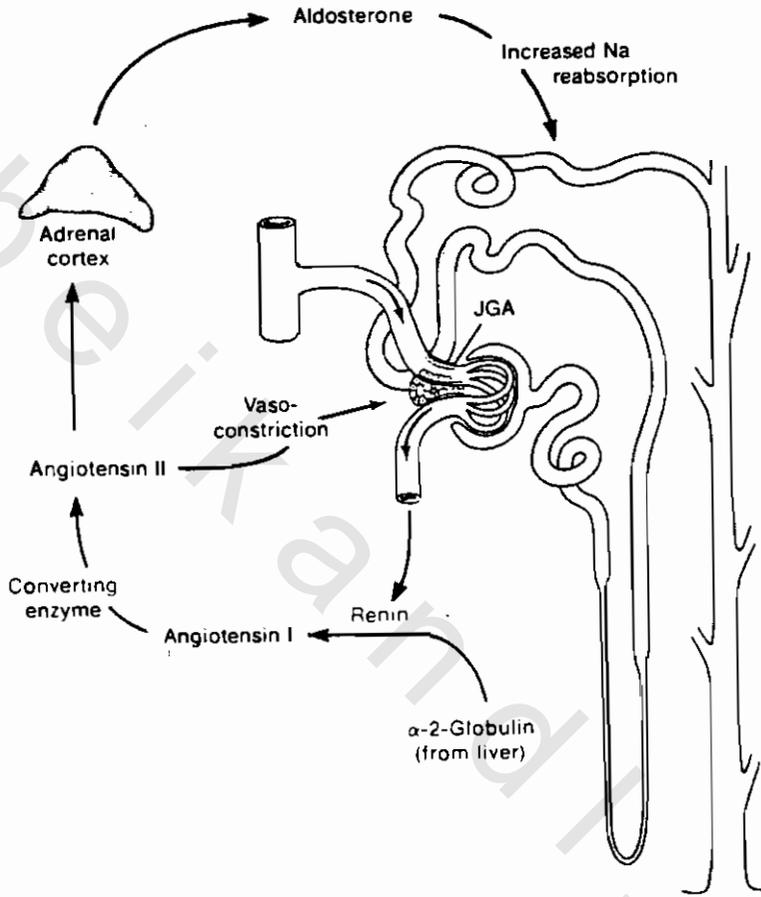
شكل رقم (١٢-١) : رسم تخطيطي يبين موقع الكلية والإمداد الدموي لها

ولذا فإصابة الكلى أو تسممها يؤثر على بعض أو كل العوامل السابقة بجانب النقص الذي تعكسه في مقدرتها على التخلص من الفضلات خاصة النيتروجينية كزيادة النيتروجين بالدم (Blood Urea Nitrogen :BUN) أو زيادة الكيرياتين في بلازما الدم كمؤثر إكلينيكي لتسمم الكلى كذلك المحافظة على تركيب الدم ثابت باستخلاص المواد الإخراجية من الدم وطرحها بالبول كذلك تخليص الدم من الماء الزائد مما يعيد تثبيت الضغط الإسموزي . و إعادة امتصاص (Reabsorption) بعض المكونات الرئيسية كخلايا الدم و البروتينات و الجلوكوز فيحافظ على مكونات الدم ثابتة.



شكل رقم (١٢-٢) : قطاع طولي في الكلى

□ وأكثر من ذلك فالتيار الهابط في الإنبيب و إعادة الامتصاص و/أو إفراز الصوديوم و الكلوريد يأخذ مكانه .



شكل رقم (١٢-٣) : الرنين - الشد الوعائي التغذية الرجعية للعقد

(Renin-angiotensin feedback loops)

حيث يتكون جهاز (Juxtaglomerular apparatus) من الخلايا المفرزة للرينين المتمركزة في الشريكات المصفرة (الموردة) بالخلايا الإسموزية الحماسية بالأنبيب البولية حيث يفرود الرنين بتقباض الشريكات الموردة الراجع لإخفاض الضغط في الأوعية و تركيز الملح المنخفض في الإنبيب البعيد و الذي يقود إلى زيادة في الأنجيوتنسين ٧ والألدوستيرون حيث ينبه الأخير إنتقال الملح لخارج الأنبيب البولية

□ وبمجرد أن يمتد الإنسيب البعيد فإن إعادة الامتصاص لمجموعة مختلفة من المواد تأخذ مكانها مرة أخرى خاصة المواد ذات الذوبان في الليبيدات بدرجة معقولة .

□ وتبعاً لتركيز الهرمونات المضادة للتبول (Anti diuretic hormone) فإن إعادة امتصاص الماء خلال الخلايا البين نسيجية تأخذ مكانها بالإنسيب المجمع .

والشكل التالي رقم (١٢-٤) يوضح كيف أن تتدفق السوائل يمكن أن يؤثر على تركيز الأيونات في الإنسيب وهنا تظهر سميتها ومنها يظهر أن الإفراز و إعادة الامتصاص للأنيولين لا تأخذ مكانها عقب الترشيح الكببي حيث يرتفع تركيزها بالإنسيب بزيادة إعادة امتصاص الماء أكثر .

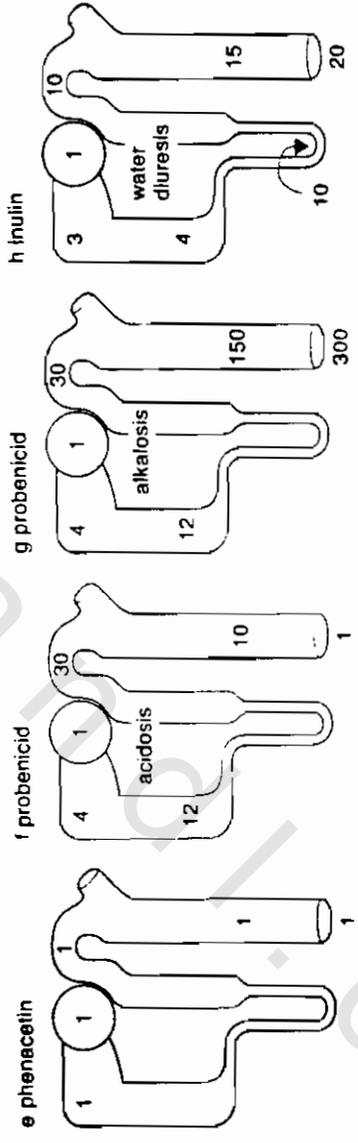
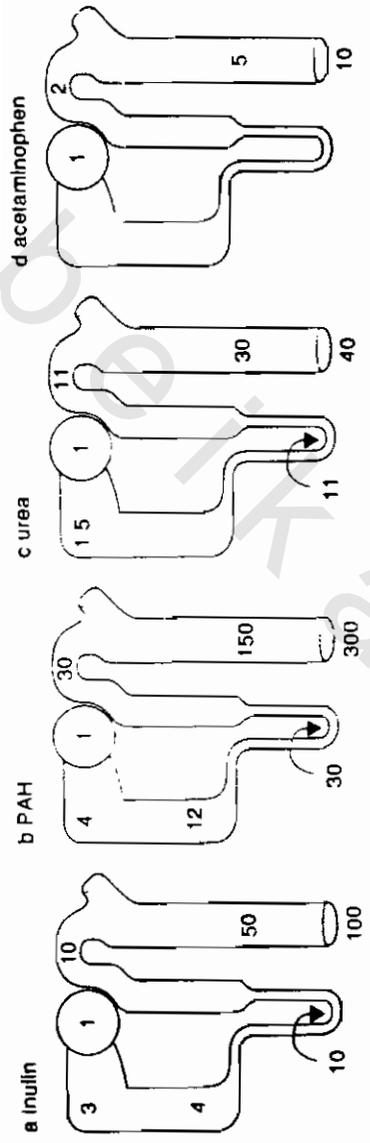
أما الشكل (ب) فيبين كيف أن تركيز حمض بارا-أمينو هيبوريك (فهي مادة تفاعل نظام النقل العضوي) يتغير وهو ما يعنى أن تأثير تركيز إعادة امتصاص الماء يدفع بتأثير الإفراز النشط من الدم خلال البول . وكميات من اليوريا (ج) يعاد امتصاصها في الإنسيب الأقرب وتخرج مرة أخرى في عقدة هنلي وتعاد امتصاصها مرة أخرى من القناة المجمع ، أما الأسيتومينوفين (د) فيعاد امتصاصه بالإنتشار فالغشاء البيني ليس منفذ بقوة لها لذا يرتفع تركيزها بشدة بنهاية الإنسيب .

أما الفيناسيتين (هـ) فتنتشر بسهولة عبر الغشاء فلا تتركز . كما يظهر الشكل تأثير عامل أس تركيز أيون الهيدروجين لسائل الإنسيب على مادة بروفيناسيد (و،ز) فلا تتفكك على الإطلاق عند انخفاضه فلا تتمكن من المرور خلال غشاء الإنسيب ، وارتفاعه تظهر عليها شحنة فلا يمكنها عبور الغشاء . في حين الشكل الأخير يشير لما يحدث في غياب (ADH) حيث تفرز كمية كبيرة من الماء حتى أن تركيز الأنيولين في نهاية الإنسيب تكون قليلة .

ويشير الفحص العيني لمقطع سهيمي بالكلية (Sagittal section) لوجود منطقتين بالكلية :

١- المنطقة الخارجية : منطقة اللحاء : القشرة (Cortex) :

ويحيطها من الخارج غشاء ليفي يسمى بالمحفظة وتشغل الجزء الأكبر من الكلية وتستقبل معظم الدم المحمل بالغذاء والملونات المتداخلة معه .

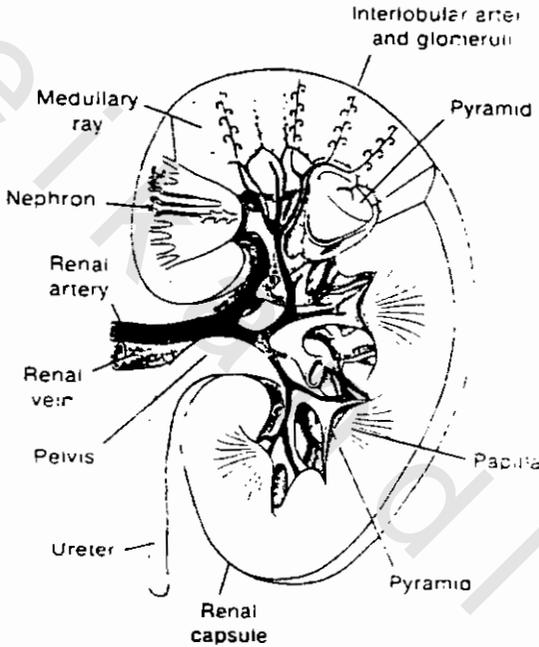


شكل رقم (٤-٢): رسم تخطيطي يوضح مقارنة لتركيزات عدد من المواد الغريبة في البول

وتحتوى القشرة على كريات مليجي (مليون ونصف كرة / كلية) تجرى بها الأنبيبات الملتفة القريبة والبعيدة ، شكل رقم (١٢-٥) . ونظرا لأرتفاع معدل سريان الدم إليها فإن النسبة الأكبر من السموم والملوثات ستصلها أكثر من المنطقة الداخلية (النخاع) .

٢- المنطقة الداخلية :منطقة النخاع (Medula) :

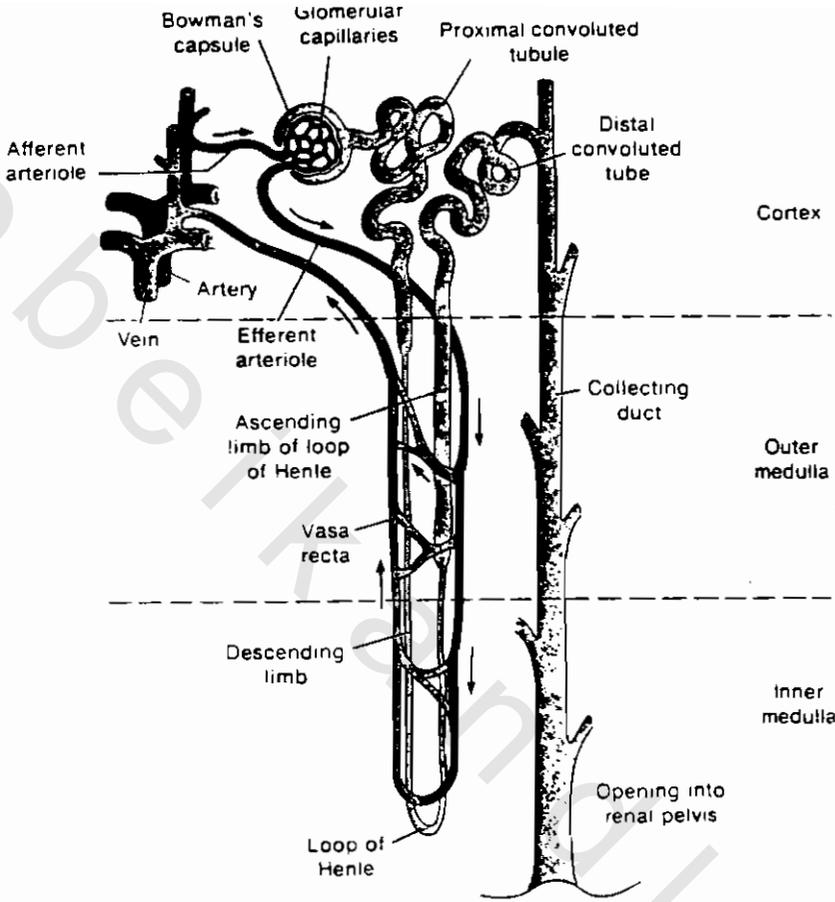
وتشغل جزء أقل من قشرة الكلية وتحتوى على الإنبيبات الجامعة والتي تتجمع بشكل أهرامات (حلمات) تسمى بأهرامات مليجي حيث يوجد اثني عشرة هرم / كلية .



شكل رقم (١٢-٥):مقطع سهمي في الكلى

ونظرا لإتخفاض معدل سريان الدم بها فإن نسبة ما يصلها من السموم أقل بكثير من الأولى . وتجويف النخاع يسمى بالحوض والذي تصب فيه الأنبيبات الجامعة للبول نقطة نقطة حيث يبدأ الحالب .

وتتركز وظيفة الكلى في وحدتها التشريحية الوظيفية : النفران (Nephron) شكل رقم (١٢-٦) حيث لكل عنصر مكون له وظائفه المختلفة والمتخصصة :



شكل رقم (١٢-٦): الوحدة الوظيفية للكلية : النفران والإمداد الدموي له

١-العنصر الوعائي (Vascular element) :

ويشمل الشريان المورد والمصدر (Afferent & Efferent arterioles) ويخدمان في نقل الفضلات والمواد من خلال تفرعها لفروع دقيقة كوسادة تنتهي بالكبيبة (Glomerule) ثم يرجعا مرة أخرى الدم إلى الشريان المصدر لإعادة الإمتصاص فيصل الدم للنفرانات بالشريان المورد ، شكل رقم (١٢-٧) .
و بعض من الدم يرشح و يدخل في الإنبيب بينما يتساب الدم الباقي في الشريان المصدر وبعد عدد كبير من الدورات حول الإنبيبات و التي تسمح

بالتلامس المركز بين الدم و الخلايا الإنسيبية يتجمع فسي الوريد الفصي (Inter lobular arteriole) فالحجم الكلي للدم يدور خلال الكلية حوالي ٣٠٠ مرة / يوم .

٢-الكببة (Glomerule):

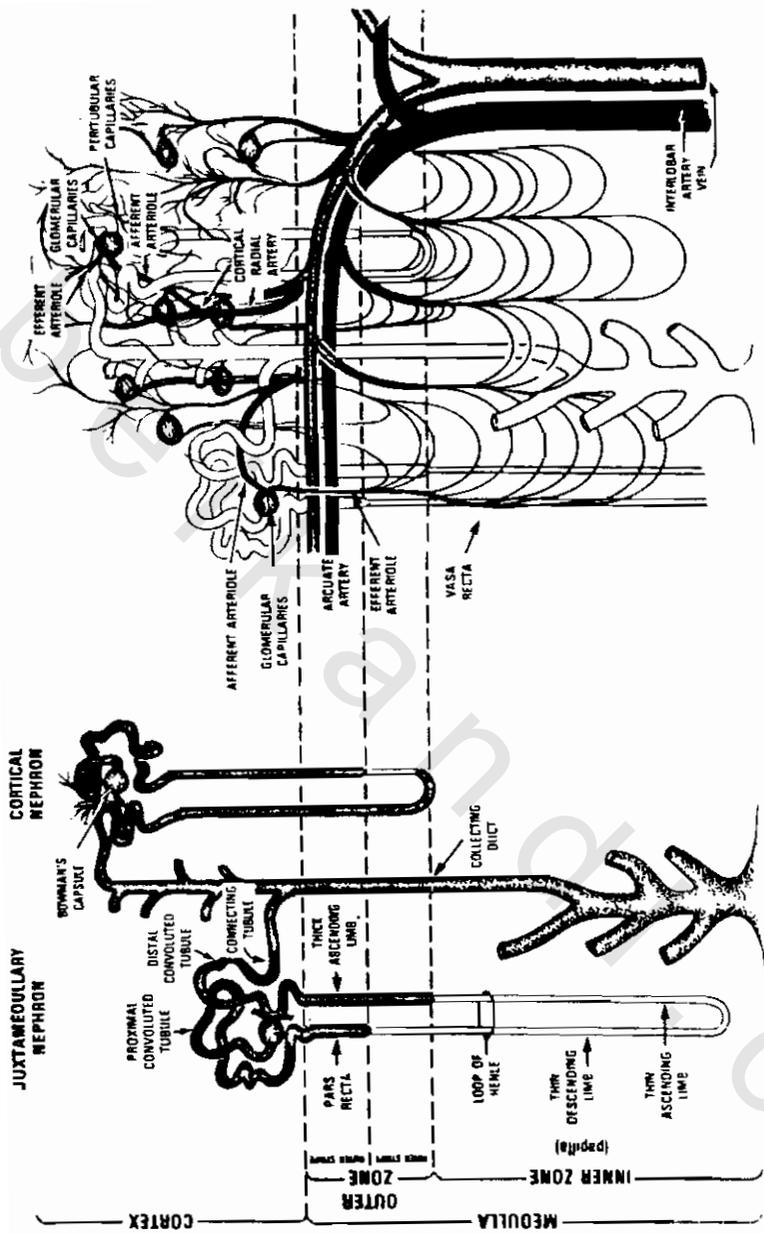
حيث يتفرع الشريان المورد لفروع أدق فأدق تنتهي بوسادة عنقودية (Tuft) تسمى بالكببة داخل النهاية المنتفخة من النفرون والمسماة بمحفظة بومان فهي وسادة من الشعيرات الدموية تقع بين الشرايين الوعائية النشطة ، أي أنها شعيرات دموية كثيفة عنقودية مغلقة بكبسولة بومان (Bowman's capsule) والخلايا الطلائية أو المسماة بخلايا بودوسيت (Podocyte) بكبسولة بومان و هذه الخلايا تكون نتوءات تكون في مجموعها شبكة دقيقة حيث الفتحات بين هذه الخلايا تسمح بحدوث عملية الترشيح.

وتتكون الخاصة الشعرية هنا من ثلاث طبقات و التي تؤكد عملية الترشيح الكبيبي حيث يتكون المرشح الأول من طبقة من الخلايا الطلائية الداخلية تتخللها فتحات (Fenestrated) صغيرة بدرجة تمنع خلايا الدم من المرور ومنها يمر الراشح إلى الغشاء القاعدي الذي يمسك بدورة كل الجزيئات الكبيرة خلفه .

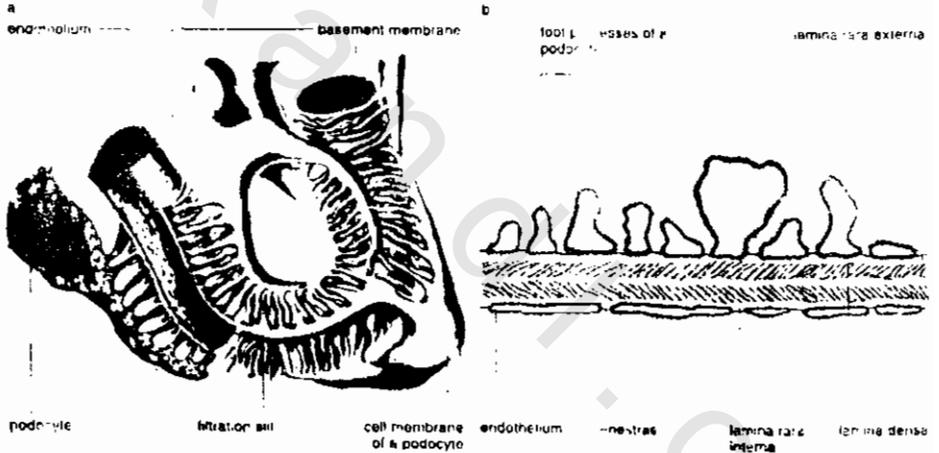
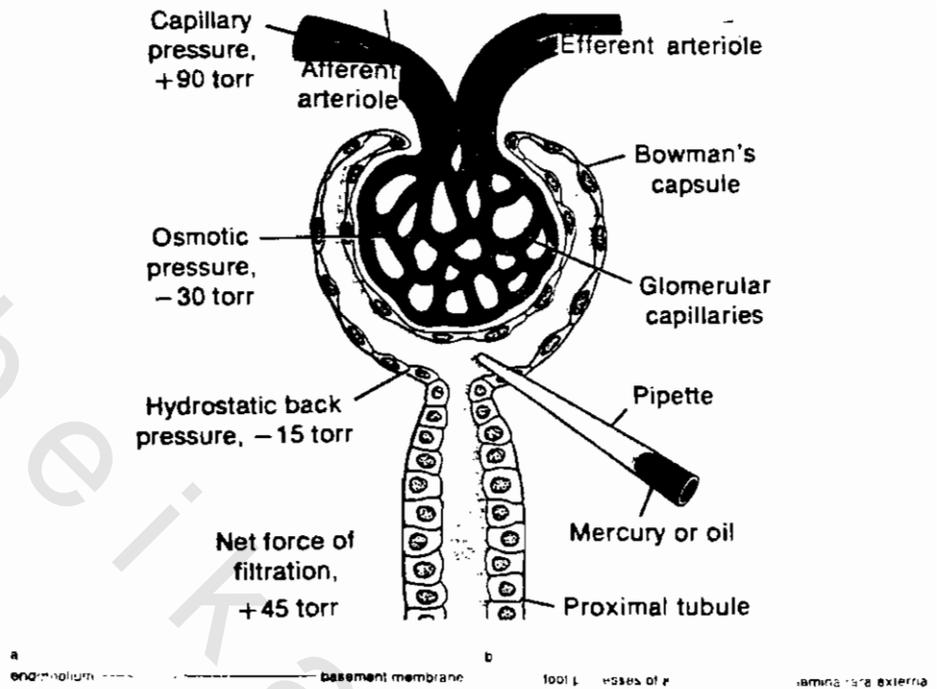
ثم الطبقة الأخرى من الخلايا الطلائية ودورها في عمليات الترشيح غير معلومة بالتفصيل للأذن ، شكل رقم (١٢-٨) .

وينساب الراشح المتكون في الكبيبات بالتبعية خلال الأنبوب الملتف الأقرب خلال عقدة هنلي (Henle's loop) إلى الأنبوب الملتف الأبعد وأخيرا يصل إلى القناة المجمعة (Collecting tube) والمؤدية إلى الحالب .

و يغطي غشاء خلايا الإنسيب القريب و المحد لمحفظة الأنسيب : غشاء المحفظة (Lumenal membrane) بخملات دقيقة كحافة الفرشاة (Brush border)



شكل رقم (٧-٢٧): النقرونات اللحائية (Cortical nephrons) و المعجورة للنخاع (Juxtamedullary nephrons)



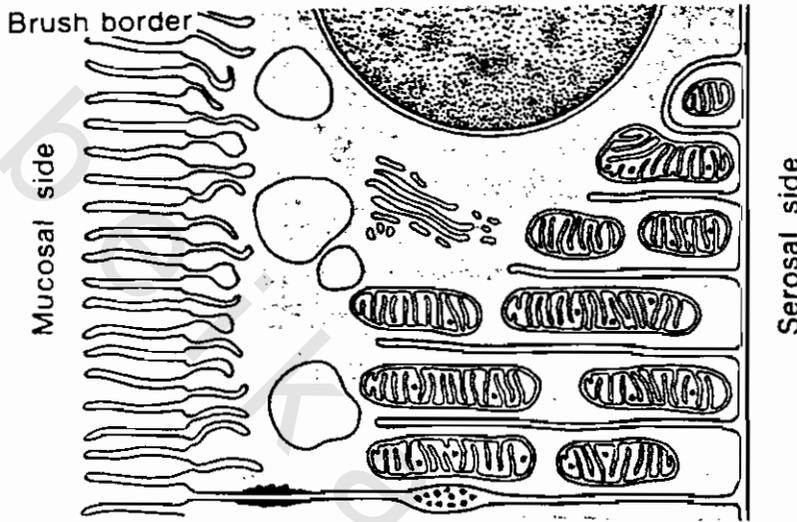
شكل رقم (١٢-٨): تخطيط يمثل الكبيبات الشعرية الدقيقة ومحفظة بومان

أ- شكل عام للشعيرات الكبيبية الدقيقة

ب- تنقل الدم خلال الشعيرات الكبيبية الدقيقة و مروره خلال جدرانها نتيجة ضغط الراشح :

ج- حيث تحتجز كرات الدم بالخلف بواسطة الطبقة الطلائية بينما المكونات ذات الوزن الجزيئي العالي تحتجز بالغشاء القاعدي
د- قطاع عرضي خلال الغشاء المرشح في الكبيبة موضعا عليه البيئات

بينما يظهر عدد كبير من الإنبعاجات و البروزات وهو ما يعطى مساحة سطحية كبيرة تسمح بالتبادل السهل مع الدم ، شكل رقم (٩-١٢) .

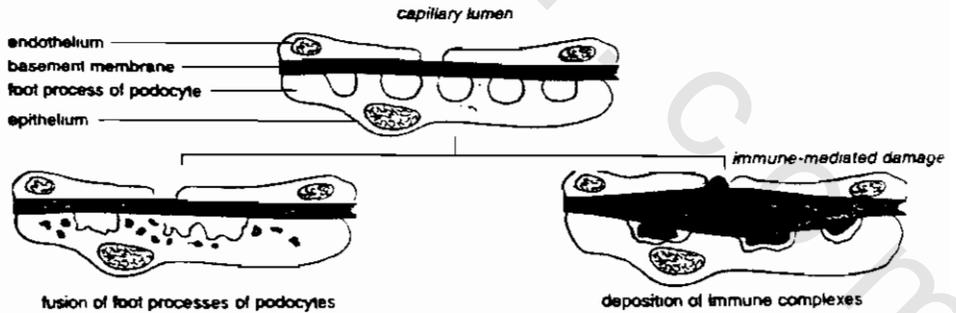


شكل رقم (٩-١٢): رسم تخطيطي لخلايا الإنبيب القريب حيث سطح الغشاء المواجه لمحفظة الأنبيب القريب للتفرون بهيئة خملات دقيقة لزيادة مساحة المسطح كما تظهر الميتوكوندريا متركزة بالقرب من السطح المصلي.

وكما سبق فمسامية الشعيرات الدموية الدقيقة حيث تتراوح الثقوب المنتشرة بها بين ٧٠-١٠٠ أنجستروم وتعمل كمرشح إختياري (Selective filtration) يتم فيها الترشيح الكبيبي (Glomerular filtration) للإخراج البولوي الناتج من العديد من العمليات المعقدة التي تحدث في الكلية متركزة في تلك على حجم وشحنة جزيئات المواد المارة من الثقوب وأحجام هذه الثقوب حيث يترشح خلالها البلازما بما فيها من ماء و فضلات و مواد عضوية و غير عضوية و جلوكوز بالترشيح السلبي (Passive filtration) كخطوة أولى في تكوين البول تحت الضغط الهيدروستاتيكي للدم (حيث أقطار الشريان المصدر أقل من المورد ولذلك يتولد ضغط داخل الكلية يصل إلى ٧٠ ملم ز بدلا من ٣٥ ملم ز كقوة دافعة محركة للمواد بالدم لتصل لتجويف محفظة

بومان) والمؤثر في معدل الترشيح الكبيبي فتتأثر به المواد الحيوية والسموم المخرجة للعنصر الأنبوبي (النفرون) . بينما لا تمر (لا تترشح) خلايا الدم وجزينات البروتين الكبيرة (الألزيمات) التي تبقى وتتحرك مع الدورة الدموية في حين فاتض الماء و الأملاح الغير عضوية وبعض المواد الأساسية للجسم كالفيتامينات و الجلوكوز الزائد عن حاجة الجسم تتجمع في صورة بول في النفرون ومنه للقناة المجمعَة فالحالب ثم يخرج نقطة فنقطة للمثانة كما سبق .

ومتوسط الترشيح الإختياري للمواد المذابة بالبلازما يتراوح بين ١٢٠-١٣٠ ملل دم/دقيقة أي مايعادل ٨٠ لتر/يوم/إنسان يبلغ وزنه ٧٠ كيلو جرام . وينبعج غشاء المحفظة عند قاعدة الخملات ليكون قنّيات (Canaliculi) وعندها تتكون الحويصلات الدقيقة (Small vesicles) تحوى على كميات قليلة من الراشح وبعد تبرعمها (buded off) تنتقل للخلايا المحتوية على ميتوكوندريا عديدة والموجودة بصفة أساسية عند جانب الغشاء القاعدي الجانبي (Basolateral membrane) والذي يظهر فيه أيضا الليسوسومات وهو ما يشير لإمكانية إتهيار الجزيئات الحيوية بالخلايا . والتفاعل الإضطرابي للشحنة الكهربائية بسطح خلايا البودوسيت بالكبيبات ربما يزيد كمية السيتوبلازم وتقلص العمليات الحيوية ويسمى بالدمج أو الصهر (Fusion) . ويعرف إنتشار الإضطراب في الكبيبات:مرض الكبيبات (Glomerulo pathy) بعدة أشكال تتميز أساسا بالفساد (Degeneration) وبدون تغيرات إتهابية ويطلق على بعض هذه التغيرات أسم (Glomerulo nephrosis) وتتميز بتفاعلات إتهابية تسمى بإلتهاب الكبيبات (Glomerulo nephritides) شكل رقم (١٠-١٢) .



شكل رقم (١٠-١٢) : مرض الكبيبات النفرونية المؤدية لتغير في النفاذية

والتغيرات الفسادية غالبا ما تتبع بالتهاب ، فكثير من أمراض الكلية ناتجة عن معقدات بين مولدات التّضاد (Antigen) و الأجسام المضادة (Antibodies) حيث تتغذ من الكبيبات وتتراكم مسببة تغيرات مرضية ربما تصاحب بالتغيرات التالية :

١. يؤدي النشاط الاسموزي الغروي (colloid osmotic) للبروتينات إلى مرورها خلالها ربما لتثبيط إعادة الامتصاص للمواد الذائبة والماء من

الإنبيب الملتف الأقرب وفي بعض الحالات يتمدد التجويف (Lumina) .

٢. احتواء الإنبيب الأقرب على قطرات شفافة هلامية (Hyaline droplets)

وهي ليسومات متضخمة مملوءة بالبروتين .

٣. فساد هيدروبي و دهني بخلايا الإنبيب (Tubulonephrosis).

٤. إلتهاب وتليف في الأنسجة البين نقرديّة (Interstitial nephritis) وربما

تؤثر التغيرات الأنبوية في الكبيبات : فإندداد التجويف الأنبوبي والناتج

عن الركود البولي في النفرون و إنتفاخ كبسولة بومان تؤدي لضمور

الكبيبات وتصلبها (Sclerosis) .

٥. تغيرات أنبوبية لا يصاحبها تغير في الوظائف البولية كترام

الصبغات والدهون و البروتينات و المسماة بالفساد النفرويدي أو الفساد

الكبيبي (Nephrosis) و التي تقسم إلى :

١-٥- فساد الكبيبات (Glomerulo nephrosis) : وهي اضطراب نتيجة

زيادة المادة الخلوية نتيجة ترسيب المعقدات المناعية أو

الجلوبيولينات المناعية (Anti-basment mem. Immunoglobulines) .

٢-٥- فساد الإنبيبات (Tubulonephrosis) : في حالات تراكم

الجليكوبروتينات البولية (Renal amyloidosis : Amyloid nephrosis)

و الذي غالبا ما يتمركز في الكبيبات والأنسجة البينفرجية بين

الأنبوبات وفي بعض الحالات يتمركز في النخاع البولي

(Medullar amyloidosis) .

والتحلل النشوي (Amyloidosis) ربما يحدث أساسا في الكبيبات أو في

النخاع أو في كليهما . أما التحلل النشوي الكبيبي (Glomerulo amyloidosis)

غالبا ما يصاحب بشوه نفريدي (N. syndrome) . وترسب المعقدات المناعية

في الكبيبات يكون مرئي بالميكروسكوب الفلوروسيني حيث تكون المعقدات

واضحة بالمادة الفلوروسنتية حيث تكون هذه المعقدات أجزاء مضيئة .

وبارتباط الجزيئات الصغيرة و المترسحة خلال الكبية بجزيئات كبيرة
حاملة كجزيئات البروتينات فلا تمر خلال ثوب الكبية ولا تظهر بالراشح
ويصبح الجزء الحر المتاح للإخراج ولكن عند إنفرادها منها يحدث لها
إستعادة من خلال حدوث إرتباط عكسي ، فإن الجزيئات المتحررة والمنفردة
منها تظل حرة وفي حالة أتران مع الجزيئات التي ما زالت مرتبطة .

وتعد الكبية موقع أولى للتأثر بالعديد من السموم و الملوثات البيئية فهي
المانع الأول الترشيحي (غشاء قاعة الكبيات) من حيث التغيرات في
النفذية حيث يطرأ تغير في الشحنات الكهربية على هذا الغشاء المتأثر
بالسموم مما يغير بدوره قدرة الغشاء على طرد الجزيئات المشحونة .

فالسوم والملوثات البيئية القطبية الذائبة في البلازما لا تزال بالترشيح
الكبي ثم تتركز في الأنبيب حيث يتم إخراجها بإعادة الامتصاص أنوبيسا
بالبول وهو ما يعتمد لحد كبير على معدل الإذابة الكلوية ويعتمد بدوره على
معدل إمداد الكلية بالدم وهنا تكون متاحة لعمليات الترشيح والمعتمدة على
الجرعة ومعدل الامتصاص ودرجة القطبية والإرتباط بالجزيئات الكبيرة .

بينما تمر وتتوزع السموم والملوثات البيئية ذات الطبيعة المحبة للدهون
: الليبوفيلية (Lipophilic nature) بعدد كبير من أنسجتها وبسرعة عن السموم
والملوثات البيئية القطبية . و بعد مرورها و توزعها يتم تمثيلها لمثلات
أكثر قطبية تعاد للدورة الدموية بسرعة وتكون جاهزة للإستتران وبالتالي
إخراجها فمعدل التمثيل للسموم الليبينية له دور هام في معدل الإخراج .

أما جزيئات السموم المرتبطة بروتين البلازما فلا تزال بالترشيح الكبي
و ربما تكون مادة للإفراز الأنوبي لارتباطها العكسي فإذا أرتبط جزيء
السم بروتين البلازما إرتباطا عكسيا وكانت مادة السم مادة إقراز أنوبيسي
فإنها سوف تخرج بالكلية وأغلب المواد الغريبة سوف تتفكك من مواقع
الارتباط لقيام الإتران المرتبط/الحر في البلازما فالجزء الحر سيصبح جاهز
للإفراز الأنوبيسي وهكذا حتى تزال جزيئاته من البلازما .

وفي الجانب الآخر فإن المركبات الغير قطبية بالبلازما وبتركيزات
معنوية ربما لا تكون غير عكسية الإرتباط و لكن تمتص على بروتينات
البلازما و تزال بدون إخراج وهذا النقص في الإخراج يعزى إلى أن هذه
المركبات ذات طبيعة محبة للدهون : ليبوفيلية ولهذا فإذا كانت هي مادة
الرشح الكبي فإنها تكون جاهزة للامتصاص و العبور خلال أغشية الخلايا و

س تكون إعادة امتصاصها سلبية كنتيجة للتدرج في تركيزها المتولد بإعادة الامتصاص الأنبوبي للراشح الكببي.

وتعد عملية إزالة السموم خارج الجسم بمثابة عمليات ترشيح سلبية من الكبيبات (Passive glomerular filtration) وانتشار سلبية من الأنبيب (Passive tubular secretion) ، ثم إفراز نشط من الأنبيب (Active tubular secretion) ، ف كما سبق فالكلية تستقبل ٢٥% مما يضخه القلب من دم و ٢٠% منه يتم ترشيحه عند الكبيبات حيث تقوب جدرها ذات قطر يبلغ ٤٥ أنجستروم و تسمح بمرور جزيئات تتراوح وزنها الجزيئي في حدود ٦٠٠٠٠٠ دالتون وغالبا ما تكون معظم السموم ذات أحجام صغيرة تسمح تقوب الكبية بمرورها بالترشيح وتبقى بالتجاويف الأنبوية حيث يتم إفرازها و يحدث لها إعادة امتصاص سلبية من الأنبيب المكونة للنفرون ثم تنتقل لتيار الدم. وعموما فمعظم الإفراز الكلوي سواء أكان بالترشيح أو بالإفراز الكلوي أو بإعادة الامتصاص الكلوي أو توافق منهم تؤدي لإزالة جزء من جزيئات السم الواصل للكلية مع الدم :

١- فالأنبولين و الكربوهيدرات العديدة (السكريات) لا ترتبط ببروتين البلازما و لا تفرز بالأنابيب و لا يعاد امتصاصها ولكن تدخل للبول من خلال نظام الترشيح ويعود الماء للدورة بدون الأنبولين أي أن الكلى تنظف حجم كبير من البلازما من الأنبولين و السكريات بعمليات الترشيح ثم امتصاص الماء مرة أخرى (إعادة امتصاص) وهو ما يسمى بحجم التنظيف : حجم الترويق : (Clearance volume) وهو الحجم النظري للبلازما والمزال منة كل المواد / وحدة الزمن .

٢- عديد من المواد يتم إعادة امتصاصها مع سائل البلازما بعد الترويق ويكون الحجم المنظف من البلازما أكبر من الحجم المترشح في حين تكون النسبة للمواد المفروزة من الكلى إلي حجم البلازما المنظف أكبر من معدل الترشيح الكببي (GFR) فنظريا كل المواد التي تصل للكلية يمكن إزالتها مع الأخذ في الاعتبار أن معدل تدفق بلازما الكلى ٦٠٠ ملل / د ويمكن أن يكون معدل الترشيح الكببي ١٢٥ ملل / د .

٣- يعد السد التنافسي (Competitive blocker) لنظام نقل نشط أو تغيير إتران حمض - قاعدة هام في آلية الإخراج مع الأخذ في الاعتبار أن جزء

من السم الغير مرتبط بيروتينات البلازما هو الذي يترشح بينما الصورة المرتبطة والحررة تكون معدة للإفراز .

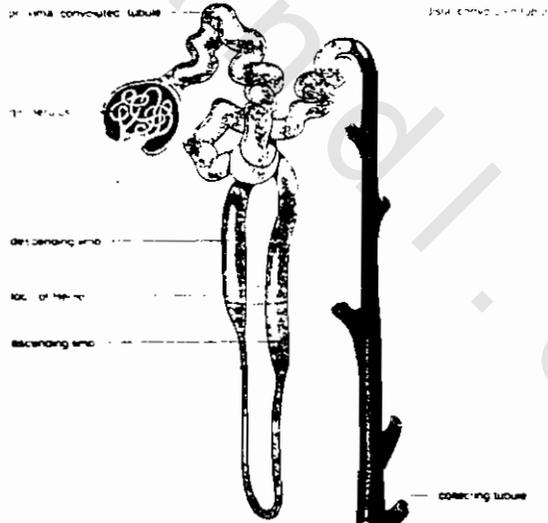
٤- لا تعطى عملية الترويق فكرة معلومة عن المعدل الذي ينخفض به تركيز جزيئات السموم بالبلازما بالإخراج الكلوي لذا يحتاج لمعرفة الحجم الظاهري للتوزيع والذي كلما زاد كان مستوى السم بالبلازما أبطأ فإذا كانت جزيئات السم تخرج بنظام الترشيح الكبيبي بمعدل ٢٥ ملل/د وفترة نصف عمر المركب ١٦ دقيقة لوزع في البلازما ٣ لتر ولكن سيحتاج إلي ٢١٠ دقيقة ليوزع على ماء الجسم كله (٨ لتر) .

٣-العنصر الأنبوبي (Tubular element) :

ويتألف العنصر الأنبوبي من :

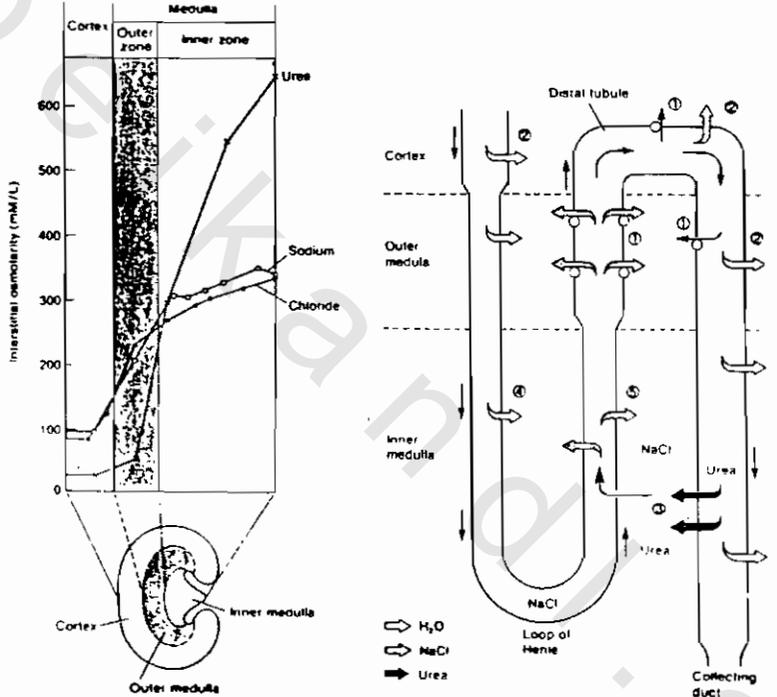
١-٢- الأنبوب الملتف الأقرب (Proximal Convoluted Tubule : PCT) :

يتمركز الأنبوب الملتف الأقرب باللحاء ويرسل الأنبوب المستقيم (Parse recta) والطرف الصاعد والهابط من عقدة هنلي (Ascending & Descending limb لحوض الكلية (Pelvis) شكل رقم (١٢ - ١١) .



شكل رقم (١٢-١١):العنصر الأنبوبي للوحدة التشريحية الوظيفية للنفرون
الأنبوب الملتف الأقرب و الأبعد الطرف الصاعد والهابط لعقدة هنلي

ويقوم الأتوب الملتف الأقرب بإعادة الامتصاص خاصة لأيونات الصوديوم واليوتاسيوم والكلوريد وهي ثاني عملية هامة بعد الترشيح الكبيبي (لأن الحجم اليومي لمرشح الكبيبات يعادل أربعة أمثال حجم ماء الجسم الكلي و يحتوى على مواد مذابة (Solutes) مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية والملح الضروري للعمليات الفسيولوجية العادية للكائن فإن معظم الراشح الكبيبي و مكوناته يمكن إسترجاعها ، شكل رقم (١٢-١٢) .



شكل رقم (١٢-١٢): تركيزات المذاب: اليوريا وايونات الصوديوم والكلوريد

على طول المحور اللحائي النخاعي لكلي الثدييات :

حيث : أغلب الزيادة في تركيز اليوريا تحدث عبر النخاع الداخلي

أغلب الزيادة في تركيز كلوريد الصوديوم تحدث عبر النخاع الخارجي

مجموع التوزيع الإسموزي لأيونات الصوديوم والكلوريد تساوي تركيز اليوريا في النخاع

تعتمد الحالة الثابتة للتدرج على تفاعلات التفاضلية والانتقال النشط بمناطق النفرون المختلفة

لما (تموذج التدفق المتعاكس المتعدد (Renal counter-current multiplier model) حيث

التدرج الإسموزي في اللحاء النخاعي يأخذ وضعه نتيجة التراكم النشط لكلوريد الصوديوم

والمليبي لليوريا

وتنقسم خلايا الأنثوب الملتف الأقرب إلى ثلاثة مناطق واضحة وهي :
 الجزء الأول من الأنثوب الملتف الأقرب (PCT1) : وهي أيضا خلايا الجزء
 الجزء الأوسط من الأنثوب الملتف الأقرب (PCT2)
 الجزء الأخير من الأنثوب الملتف الأقرب وهي الممتلة للجزء المستقيم كما
 بالجدول التالي رقم (١٢-١) والذي يوضح وظائف هذه الخلايا المتخصصة:
 جدول رقم (١٢-١):تنقسم خلايا الأنثوب تبعا لوظائفها المتخصصة :

اسم الخلايا	المواد المعاد امتصاصها بها	إفرازها	وظائف أخرى
خلايا الجزء الأولى من الأنثوب الملتف الأقرب (PCT1)	أيونات الصوديوم والكلوريد والكالمسيوم والفوسفات والبوتاسيوم و البوريا وحمض البوريك والأحماض الأمينية والجلوكوز و الخلات	حمض البوريك والأحماض و القواعد العضوية	الإنهلم و الإنتلم و أخذ و هدم البروتين مكونة لمونيا
خلايا المنطقة الوسطى و الأخيرة (PCT2)	كميات صغيرة من أيونات الصوديوم و البوتاسيوم و الكالمسيوم و الفوسفات و البوريا و الأحماض الأمينية وحمض البوريك و الجلوكوز و الخلات		
الجزء المستقيم (Pars recta: PR)	البيريونات وكميات صغيرة جدا من أيونات الصوديوم و الكلوريد و البوتاسيوم والفوسفات و البوريا و حمض البوريك و الأحماض الأمينية و الجلوكوز و الخلات	ربما البوريا	هدم البروتين

وتتضمن عملية إعادة الامتصاص عدد من العمليات الغير مترابطة فكلا
 من الآلية النشطة والسالبة و بدرجات مختلفة ومتفاوتة التخصص تتضمنها
 عملية الامتصاص :

١. تفرز الأحماض العضوية بطريقة أو آلية نشطة بعد ارتباطها بحمض
 الجليكورونيك أو حمض الكبريتيك (فيزداد وزنة الجزيئي بعد الارتباط
 بمقدار ١٩٣ و ٩٨ على الترتيب في حين أن ارتباطها بالجليسين أو
 التايرين أو الجلوتاثيون يزيد بمقدار ٧٤ و ١٢٤ و ٣٠٦ على الترتيب
 بعد الارتباط) وهنا يكون إفراز هذه الأحماض السامة المقترنة بالبول
 أكثر من الصفراء فالإفراز الصفراوي للسموم المقترنة يكون مع الأوزان
 الجزيئية الأكبر من ٣٠٠ أي أن السموم والملوثات البيئية ذات الأوزان
 الجزيئية المنخفضة تكون بالبول بينما السموم والملوثات البيئية ذات

الأوزان الجزيئية الأعلى من ٣٠٠ تكون بالإفراز الصفراوي أما جزيئات السموم ذات الوزن الجزيئي العالي جدا يكون إفرازها خارج الجسم عن طريق البراز .

٢. تفرز الأحماض الضعيفة و التي في صورة ليبيدية أو محبة للدهون أكثر من صورتها بشكل متأين أي أكثر إستعدادا للإنتشار السليبي وتوزيعها على الأنسجة المختلفة خلال أغشية الجدر الخلوية الأتوبوية (ويجب الأخذ في الاعتبار أن درجة حموضة التجويف الأتوبوي تجعل هذه المواد متأينة بعض الشيء وبالتالي غير قادرة على الانتشار وهنا تنتشر بألية الانتشار الإصطيادي (Trapping diffusion) لذا فالسموم ولملوثات البيئية ذات معامل التوزيع العالي بين الدهن والماء يحدث لها إعادة امتصاص سلبى مرة أخرى ويكون إخراجها بصورة ضئيلة في البيئة المائية كالبول والصفراء وذلك قبل تمثيلها أوليا تسهيلا لنواتج أكثر قطبية يعاد إمتصاصها في الأتابيب الكلوية أو الأمعاء .

٣. أما جزيئات السموم ذات الطبيعة الليبيدية كالهيدروكربونية الكلورونية والكرباماتية العضوية والفتالات والفيتوتوكسينات والميكوتوكسينات فيتم تمثيلها وهدمها قبل إخراجها لمركبات أصغر في وزنها الجزيئي أو أكثر قطبية بالكبد أو ترتبط بنواتج تمثيل حيوية قطبية قبل أن يتم إخراجها و لهذا فمعدلات الإخراج غالبا ما تعكس صورة معدلات التمثيل الحيوي .

٤. تنتشر جزيئات الملوثات البيئية والسموم الحامضية الضعيفة إنتشارا بسيطا خلال الأتابيب و بعد ترشحها بالكببة يحدث لها إعادة امتصاص بالإنتشار السلبى لإخراجها وهذا ما يستغرق وقت طويل ، حيث أنه بعد أن ترشح لا يحدث لها امتصاص سلبى ولحسن الحظ يحدث تمثيل للأحماض الضعيفة لأحماض أقوى فتزداد صورتها المتأينه فيمنع إعادة امتصاصها بالأتابيب و تخرج في البيئة المائية في البول .

٥. تفرز السموم و الملوثات البيئية القاعدية القوية بألية نشطة بالإضافة لألية سلبية لإفراز السموم القاعدية الضعيفة حيث أن إخراج السموم القاعدية في البول يكون في مدى واسع : فإذا كان البول حامضى فإن ذلك يلعب دورا هاما في إخراج القواعد لتأينها بوسط البول الحامضى (بينما تخرج جزيئات السموم و الملوثات البيئية الحامضية بصورة أكثر إيجابية عما إذا كان البول قاعدي) وتطبق هذه الظاهرة عند علاج

حالات التسمم بمركب الفينوباربيتال (سم حامضي ضعيف : $pK_a = 7.4$) حيث تخرج صورته المتأينه بالبول و المتأثرة بأحداث تعديل في درجة الحموضة عن طريق العلاج بمواد قلوية مثل كربونات الصوديوم التي تجعل البول قلوي أيضا عند التسمم بالسليسيلاط (Salicylate) فإن التعجيل بالتخلص منها يكون بواسطة كربونات الصوديوم . أي أن السموم تخرج إلى البول بألية إخراج نشط فهناك عمليتين أنبوبيتين للإخراج :

للكاتيونات العضوية كالأحماض

للكاتيونات العضوية كالقواعد

مركب بارا- أمينو هيببورات (PAH : p-Amino Hippurate) يكون في الشكل البروتوني (prototype) لأي مادة تخرج بواسطة نظام النقل للأحماض العضوية . أما مادة ن-ميثيل - نيكوتين أميد (N-methyl nicotine amide : NMA) يكون في الصورة القاعدية .

وهذه الأنظمة تظهر أنها كافية في الأنبوب الأقرب (Proximal

Convolutud Tubule : PCT) وعلى النقيض في المترشح فإن السموم

المرتبطة بالبروتينات تكون متاحة جدا للإنتقال النشط ، وهذه العمليات

لها نفس صفات نظام الإنتقال النشط لذا فمركبات مختلفة تتنافس مع

مركبات أخرى للإخراج وهو ما حدث في الحرب العالمية الثانية مع

مركب البنسيلين .

٦ . أما بالنسبة لجزيئات السموم البيئية المرتبطة بالبروتينات فتتقل نقلا

نشطا تنافسيا فأتساء الحرب العالمية الثانية ومع كثرة طلب الجنود على

مركب البنسيلين و الذي يفرز سريعا من الكلية بألية إخراج الأحماض

العضوية وهو ما أدى بالأطباء إلى استخدام حمض بروبن (Proben) مع

البنسلين لينافسه على الإخراج فيمكن بذلك إبقاء البنسلين فترة أطول .

٧ . وبالنسبة للسموم والملوثات البيئية القطبية يلاحظ أن المركبات فقيرة

الامتصاص كمبيدات الحشائش الأيونية تزال بالإخراج سريعا

كالباراكوات (Paraquat) والدياكوات (Diaquate) ، لذا فجرعتها عن

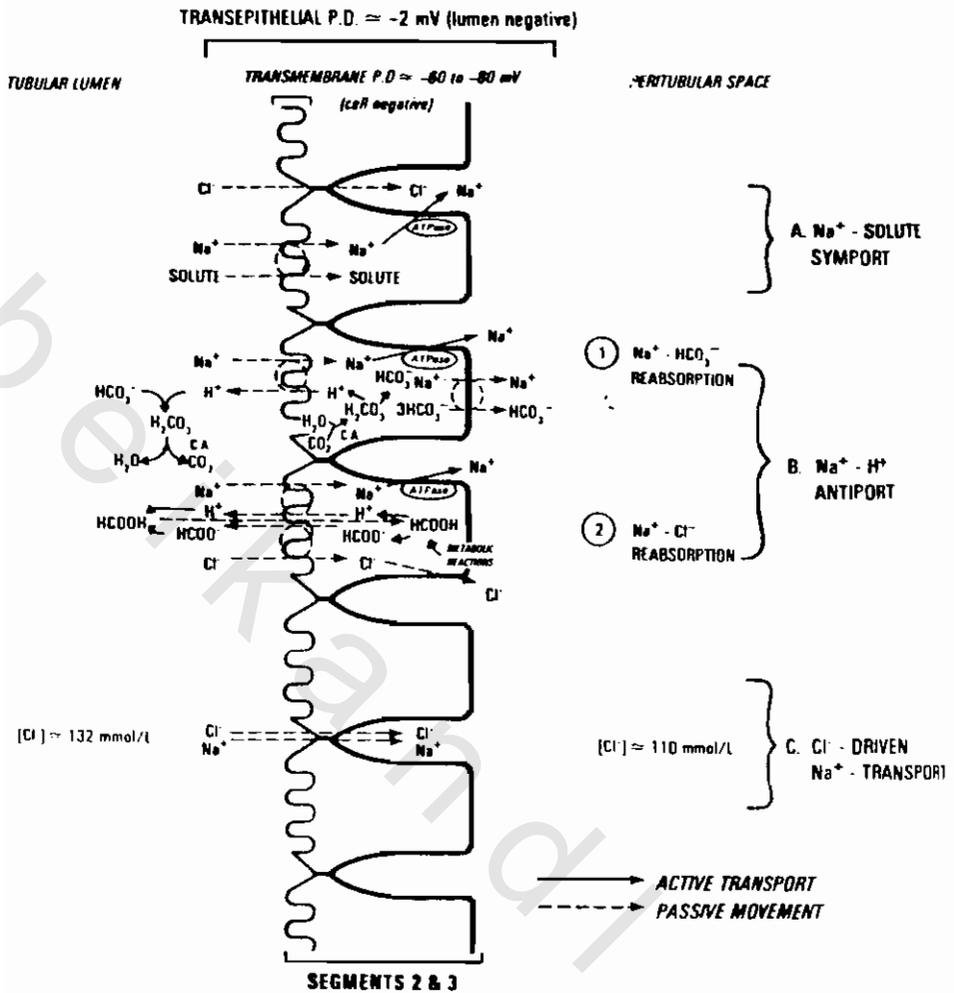
طريق الفم تزال بالبراز بينما نفس الجرعة ولكن بالحقن عن طريق الدم

تزال سريعا

أما جزيئات السموم القطبية سريعة الامتصاص بالجهاز المعد معوي

فتزال بالبول قبل أن تمتل مثل مركب ٤٠٢-D (٤, 2) ومركب

- ٤ و ٥ و ٤٠-٤٥ (T-4,5) والمركبات الفينولية المهلجنة . في حين نجد أن إضافات الغذاء (Food additives) وصبغات الطعام (Food dyes) وكذلك السكرين و السيكلاما فهي مركبات سريعة الامتصاص بالمعدة وتتواجد بعد خمس دقائق بالبول عقب تناولها بالفم .
- ٨ . ويقوم كذلك الإنبوب الملثف الأقرب بإعادة امتصاص ٦٥-٩٠% من باقي اليلازما المترشحة بالكلية حيث يعاد امتصاص الجلوكوز وبعض الكاتيونات كالهيدروجين والبوتاسيوم والبروتينات صغيرة الوزن وعدد من الأحماض العضوية و الأحماض الأمينية و الأمونيا بآلية نشطة
- ٩ . تتم إعادة امتصاص الماء و أيونات الكلوريد بآلية سلبية بالضغط الإسموزي و التدرج الكهروكيميائي المتولد بالانتقال النشط للصوديوم و البوتاسيوم (حيث تعد أنابيب هنلي المسؤولة عن ميكانيكية الضغط و التي بواسطتها تنظم اسموزية السائل في الأنابيب المجمعة) فالماء المتبقي و إعادة امتصاص الأيون تحدث في الأنبوب الأبعد : (Distal convoluted tubule) (DCT) والقنوات المجمعة حيث معدل الامتصاص ينظم لتثبيت التركيز الأسموزي للدم) شكل رقم (١٢-١٣) .
- ١٠ . أما بالنسبة لجزيئات السموم فقيرة التمثيل (Poorly metabolism) فتعد عملية الهلجنة (Halogenation) طريقة فعالة في تثبيط عمليات التدهور الطبيعية و الكيميائية للمركبات الهيدروكربونية الحلقية و عديدة الحلقات في نفس الوقت تزيد من صفاتها المحبة للدهون ويزيد الوزن الجزيئي مما يقلل من تطايرها ، لذا توجد كميات لا بأس بها مخزنة في الأنسجة الدهنية و أنسجة الكبد (ددت- ديلدرين-ميركس-كيبون-بيفينول-نفتالينات- بنزين عديد الهالوجين) وذلك تبعاً لميلها للدهون .
- فوجود ذرات الهالوجين تمنع أو تعيق تمثيلها فلا يمكن إخراجها ولهذا تخزن في الأنسجة الدهنية بالجسم . فالممثلة فقيرة القطبية تخزن وبتركز عالي في الكبد وبعض الأنسجة الحمراء (Lean tissues) ويتم إخراجها بالبراز ويرجع ذلك للتران السلبى مع الصفراء ومحتويات الأمعاء الرفيعة وكميات ضئيلة منها تخرج في البول .
- ١١- وتستهلك آلية عملية امتصاص أيونات الصوديوم و الكلور النشطة طاقة وتتم بامتداد النفرون (عدا عروة هنلي) حيث تنتشر أيونات الصوديوم خلال قنوات الصوديوم سلبيا بحافة أهداب خلايا الأنبوب ثم تنتقل بالنقل



شكل رقم (١٢-١٣) : آليات إعادة الإمتصاص لأيونات الصوديوم :

النشط لخارج الخلية فتصل للقجوة بين الخلايا بواسطة مضخة الصوديوم - البوتاسيوم الواقعة على سطح خلايا الإنابيب المواجه للفراغ الواقع بين الخلايا . وتتبع أيونات الكلور أيونات الصوديوم سلليا حسب التدرج الكهروكيميائي الحادث بفعل الصوديوم ونفس الشيء ينطبق على جزيئات الماء الذي يتبع كلوريد الصوديوم و يسترجع الماء في الإنبيبات بالاسموزية فيهبط تركيز الصوديوم في تجويف الإنبيبات ويستمر نقل الصوديوم ويشكل كلوريد الصوديوم المعاد امتصاصه ٢٥% من الكمية الكلية المترشحة .

وبالنسبة لعقدة هنلى الصاعدة والهابطة تخضع الهرمون (Vasopressin) المضاد للبول (Anti-duretic Hormone : ADH) حيث ينظم نفاذية الماء بهذه الأتسجة و عند إنعدام الهرمون تغلق قنوات الماء بالإنتيب البعيد و القنوات المجمع و يصبح الإدرار اليولي مخفف جدا لاستمرار إعادة امتصاص الصوديوم وتفتح قنوات الماء في وجود الهرمون ويمر سلبيا بعد امتصاص الصوديوم ويكون حجم الماء قليل والبول شديد التركيز حيث أقصى تركيز للبول بكلية الإنسان ١٤٠٠ ملليمول / لتر (فالفضلات اليومية كاليوريا والكبريتات والفوسفات المطروحة بالبول حوالي ٦٠٠ ملليمول) وعليه يكون أقل حجم للبول/يوم = ٦٠٠ / ١٤٠٠ = ٠,٤٤ لتر و بجانب هذا الفقد والبالغ ٠,٥ لتر يفقد الجسم بالجلد والرئتين حوالي لتر ماء و بما أن الجسم ينتج ٣٥٠ ملل ليض فإن أقل كمية يحتاجها يوميا للمحافظة على اتران الماء هي ١.٢ لتر .

١٢- أما إنعدام هرمون الألدوستيرون الإستيرويدي (Steroid Aldosterone) و المسيطر على إفرازه من القشرة الكظرية نظام (Renin Angiotensin) يعاد امتصاص ٩٨% من أيونات الصوديوم المترشحة بالكليتين ويحدث تغير في سرعة الترشيح الكبيبي لتغير سرعة إعادة امتصاص الصوديوم وتعرف بآلية التوازن الكبيبي الإنتيببي (Glomerulo tubular Balance) أما إعادة امتصاص ٢% المتبقية من أيونات الصوديوم (٣٣,٤ جم/يوم) تقع تحت سيطرة الألدوستيرون حيث يحدث تخليق قنوات إضافية للصوديوم بالأغشية المبطنة للإنتيببات البعيدة و قنوات التجميع فتؤدي لسرعة إعادة الامتصاص لأيون الصوديوم .

١٣- أما الرينين (Renin) فهو بروتين سكري هاضم تنتجه خلايا غديه قرب الكبية وتحول بروتين البلازما (Angio tenesinogen) إلى (Angiotenesin II) المحفز لقشرة الغدة الكظرية لإفراز الألدوستيرون و الذي يسيطر على إفراز الرينين ويؤدي إلى:

١٣-١- إنخفاض ضغط الشرايين الكلوية الموردة لقلعة حجم السائل الخارج

١٣-٢- قلة تدفق أيون الصوديوم خلال الإنتيب البعيد (قرب الكلية)

١٣-٣- التحفيز السيمبثاوي للكلية ودوران مركب كاتيول أمين

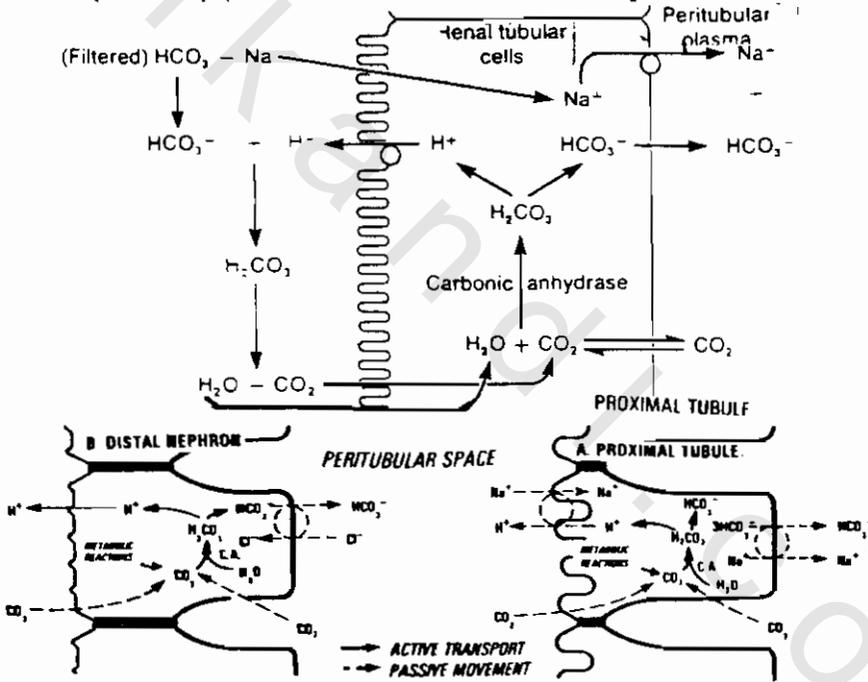
١٣-٤- البروستاجلاندينات (Prostaglandines)

١٤- وتنظم الكليتان توازن الحمض-قاعدة برفع أو خفض تركيز البيكربونات بالبلازما بالإضافة إلى ايض أيونات الهيدروجين والصوديوم والفوسفات والنشادر :

١٤-١- فالأشخاص النباتيون يطرحون بول قاعدي بسبب أملاح الأحماض خاصة للبوتاسيوم والفواكه الحمضية وعندما تمثل الأحماض تترك أيون البيكربونات .

١٤-٢- أما الأشخاص آكلة اللحوم يطرحون بول حامضي لإنتاج جزيئات حمض الكبريتيك الناجم من تحطم حمضي السيستين والميثيونين .

١٥- يعاد امتصاص ٩٠% من البيكربونات المترشحة من الكلية بخلايا الإنبيب الأقرب بينما يعاد امتصاص ١٠% بعروة هنلي والإنبيب الأبعد لعدم نفاذية أغشية خلايا الإنبيب لها بعكس الكلور خلال إفراز أيونات الهيدروجين من قبل الإنبيب القريب. بينما في تجويف الإنبيب تتحد أيونات الهيدروجين بالبيكربونات المترشحة الناتجة من كسر الحمض بإنزيم كاربونيك أنهيدريز بالإنبيب القريب إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ، شكل رقم (١٢-١٥) .



شكل رقم (١٢-١٥): آلية إمتصاص وإعادة امتصاص البيكربونات بالإنبيب

حيث ثاني أكسيد الكربون الناتج من عمليات الأيض يتفاعل مع الماء مكونا حمض الكربونيك بملامسة إنزيم كاربونيك أنهيدريز الذي يتحلل بدوره بعد تكوينه إلى بيكربونات و هيدروجين يفرز عن طريق عمليات تبادل الصوديوم-هيدروجين

١٦- يعاد امتصاص الجزء المتبقي من الماء والأيونات بالإنتيبب الملتف البعيد والأنتيبب المجمعمة ويكون معدل الامتصاص نظم ليحافظ على التركيز

١٧- أما السموم والملوثات البيئية فيعاد امتصاصها بآلية سلبية تتحكم فيها نفس الأسس المتحكمة في مرور الجزيئات عبر الأغشية فتمر السموم المحبة للدهون (الليبوفيلية) أسرع من جدر الأغشية عن جزيئات السموم القطبية (الهيدروفيلية) لذا نجد أن الإخراج الكلوي للسموم الدهنية أقل .

١٨- مما سبق يتبين أنه بالنسبة لإعادة الامتصاص و الإفراز فنجد أنه بعد دخول الراشح الإنتيبب تبدأ عملية إعادة الامتصاص لبعض المواد :

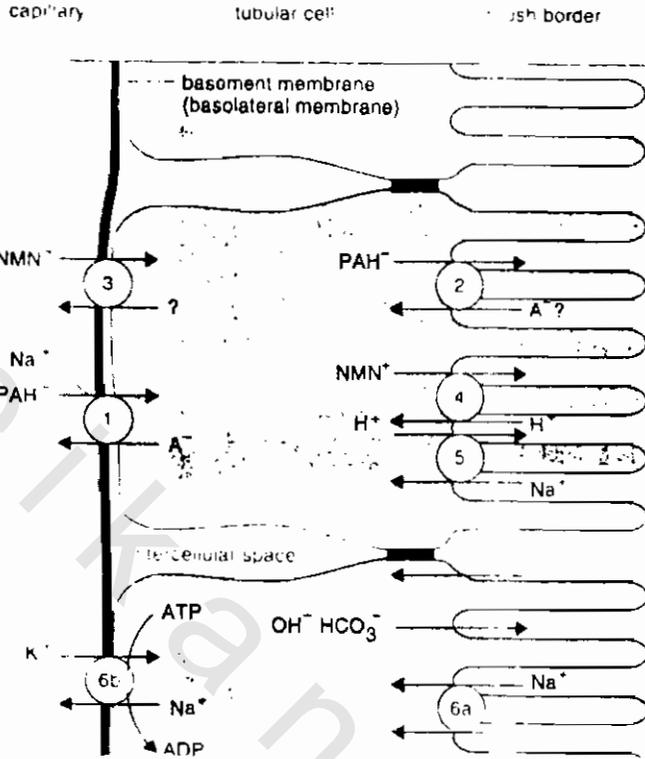
١٨-١- ففي الجزء القريب بالإنتيبب يعاد امتصاص الجلوكوز و ٨٥% من كلوريد الصوديوم والماء حيث يحدث امتصاصها بالنقل النشط والذي يحتاج إلى طاقة (ATP) بينما ينقل الماء سلبيا عقب التدرج الإسموزي وتكون سعة الامتصاص للجلوكوز محدودة فأى زيادة منه بالراشح الكبدي تسمح بإفرازة في البول :بول سكري (Diabetes mellitus) في نفس الوقت يعاد امتصاص مواد أخرى كالأحماض الأمينية و فيتامين (ج) .

١٨-٢- أما النقل بالإلتقام (Pinocytosis) فهي طريقة خاصة في الأخذ ، فالراشح الكلوي الموجود في القنبيات يكون محبوس في الحويصلات المتبرعمة وتنقل إلى الخلايا وداخل الخلايا فإن الحويصلات تلتحم مع الليسوسومات وتتهار المواد الموجودة في الراشح (بروتينات) .

١٨-٣- أما التحلل الخلوي الداخلي (Endocytosis) تتم بنفس الطريقة لكنها تتضمن مستقبلات ترتبط مع بعض مكونات الراشح بعد تكون الحويصلات الكيسية الداخلية (Endocytic vesicles) .

١٨-٤- أما النقل التجوييف/خلايا (Transport Lumen / Tubule) فيتم بالنقل المباشر من خلايا الإنتيبب لمحفظة الإنتيبب ويتوسطه نظام نقل الأيونات و الكاتيونات العضوية وغير العضوية ،شكل رقم (١٢-١٦) والمجدولة بالجدول التالي رقم (١٢-٢)

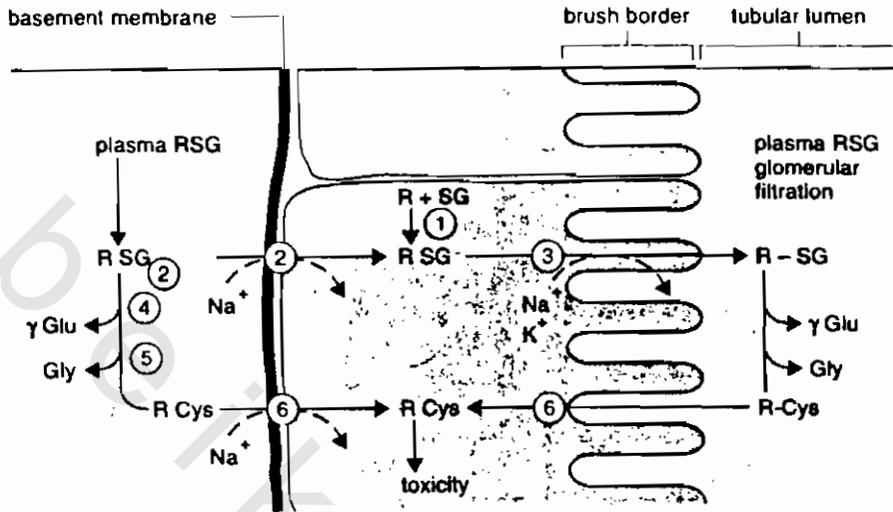
١٨-٥- وتعد أنظمة النقل لأكثر انات الجلوتاثيون و السيستئين هامة من الناحية التوكسيكولوجية البولية في بعض المواد ذات الجهد السام تصل للكلى خلال هذا الطريق ، والشكل التالي رقم (١٢-١٧) يوضح التفاعلات المختلفة لهذا النوع من الانتقال .



شكل رقم (١٢-١٦): رسم تخطيطي يوضح خلايا الإنبيب القريب مع عدد من أنظمة النقل التي تتم خلاله

جدول رقم (١٢-٢): بعض المواد داخلية المنشأ والغريبة وطرق نقلها:

مواد غريبة منقولة بألية النقل النشط	مواد داخلية المنشأ منقولة بأنظمة النقل العضوية
مورفين - أتروبيين - نيوستجمين - بروكاين - كينين - تترا إيثيل أمونيوم - تولازولين - إيمبرول - ميكلامين - نيزو بروتيرينبول	كولين - أميتيل كولين - كيرساتين - ديامين - إيبينفرين - نور إيبينفرين - جواتيدين - ميثيل جواتيدين - ثلامين - هيستامين - هيدروكسي تريبتامين - ميثيل نيكوتين أميد



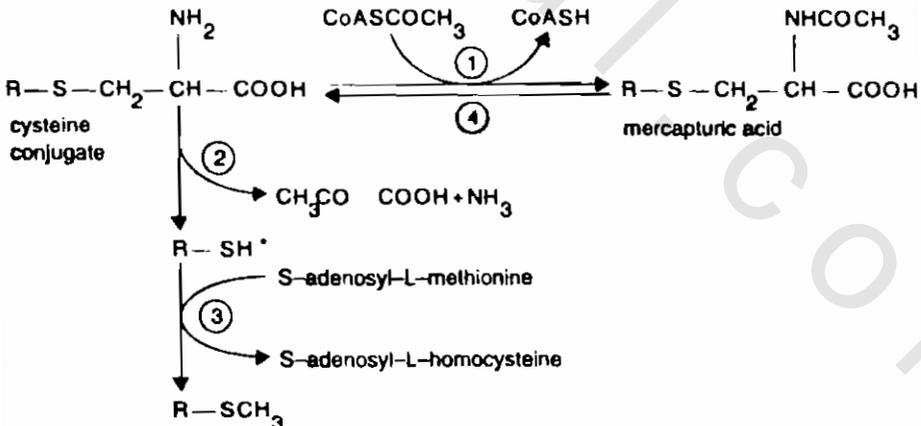
شكل رقم (١٢-١٧) : تخطيط يوضح أخذ اقترانات الجلوتاثيون (RSG)

و اقترانات السيستين (R-cys.) بخلايا الكلى

فاقترانات الجلوتاثيون تؤخذ بالخلايا مباشرة أو تتهار أولاً في الراشح

لمقترانات السيستين ثم تؤخذ ففي الخلية تفاعل يتضمن أنزيم بيتا - ليباز - β)

Lipase ويتكون جزيئ مع مجموعة ثيول نشطة، شكل رقم (١٢-١٨) .



شكل رقم (١٢-١٥) : تمثيل السيستين المقترن

١٨-٦-الأخذ السلبي (Passive uptake) : بجانب النقل النشط فإن هناك نقل آخر وهو الأخذ السلبي من الإتييب فالمواد المفرزة عند بداية الإتييب تنتشر في الخلايا بأسفل الإتييب (Lower down) لأن أس تركيز أيون الهيدروجين مختلف . وتمنع إعادة الامتصاص للمواد في الكلية الفقد في الجزيئات ذات الوزن الجزيئي المنخفض لمكونات الدم . و إفراز المواد الذائبة في الماء والممتصة بسهولة و التي تتضمن نواتج الفضلات داخلية المنشأ كاليورينا والمواد الغريبة خاصة السموم والمحتمل أنها قد مثلت أو أقتربت كالعقاقير ، وأكثر من ذلك فالكلية تتضمن في تخليق البروستاجلاندينات (و التي تميل للعمل موضعيا) والهرمونات كالرينين (Renin) .