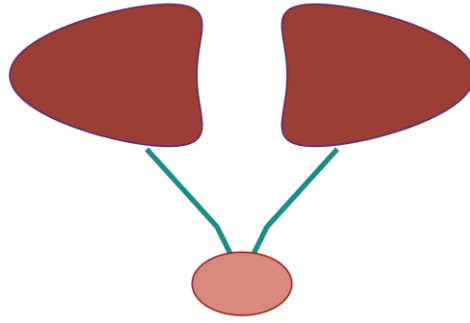




سلسلة الأحياء التفاعلية — الصف العاشر

الجهاز البولي

URINARY SYSTEM

رحلة علمية داخل الكلية: من الترشيح إلى تكوين البول

كتاب رقمي تفاعلي — الفصل الثالث

صفحة حقوق النشر

عنوان الكتاب: الجهاز البولي — Urinary System

المرحلة الدراسية: الصف العاشر — مبحث الأحياء

الإصدار: النسخة الرقمية الأولى — ٢٠٢٦

المحتوى الأساسي لهذا الفصل معتمد على المنهج الوطني للأحياء (الصف العاشر)، وتمت إعادة صياغته وتنسيقه وإثراؤه بمعلومات علمية حديثة من مصادر موثوقة (منظمة الصحة العالمية، والمعاهد الوطنية للصحة الأمريكية NIH، وقاعدة بيانات PubMed) لأغراض تعليمية.

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز إعادة إنتاج أي جزء من هذا الكتاب أو نقله بأي شكل من الأشكال دون إذن خطي مسبق، باستثناء الاستخدام التعليمي غير الربحي داخل الصف الدراسي.

مقدمة الكتاب

يحتاج جسم الإنسان إلى آلية دقيقة للتخلص من الفضلات الناتجة عن عمليات الأيض المختلفة، حتى يحافظ على ثبات بيئته الداخلية (الاتزان الداخلي). يقدّم هذا الفصل رحلة علمية متكاملة داخل الجهاز البولي؛ لنكتشف معًا كيف تحوّل الكليتان الدم المحمّل بالفضلات إلى بول نقي، وكيف تعمل كل وحدة كلوية كمصنّع مصغّر للترشيح والتنقية على مدار اليوم.

أهداف التعلّم

- التعرف على أجزاء الجهاز البولي ووظيفة كل جزء.
- الربط بين أعضاء الجهاز البولي ووظائفها الفسيولوجية.
- وصف تركيب الوحدة الأنبوبية الكلوية (النفرون) وآلية عملها.
- توضيح طريقة تكوين الفضلات النيتروجينية في الكبد.
- تتبع خطوات تكوين البول: الترشيح، وإعادة الامتصاص، والإفراز الأنبوبي.
- التعرف على أبرز المشكلات الصحية للجهاز البولي وطرق علاجها.
- التعرف على تطبيقات تقنية حديثة لحل مشكلة الفشل الكلوي.

كيفية استخدام هذا الكتاب

- اقرأ الشرح العلمي مع تأمل الأشكال التوضيحية المرافقة له.
- توقف عند صناديق «المصطلحات» لحفظ المفردات العلمية بمقابلها الإنجليزي.
- جرّب حل أسئلة «ناقش» و«أبحث» فور الوصول إليها لتثبيت الفهم.
- راجع الخريطة المفاهيمية وملخص الفصل قبل حل أسئلة التقويم.

جدول المحتويات

٥	مقدمة الفصل وأهداف التعلم
٦	٣-١ تركيب الجهاز البولي
٨	٣-٢ تركيب الوحدة الأنبوبية الكلوية (النفرون)
١٠	٣-٣ خطوات تكوين البول
١٢	٣-٤ الفضلات النيتروجينية
١٣	٣-٥ مشكلات صحية للجهاز البولي
١٥	الخريطة المفاهيمية للفصل
١٦	ملخص الفصل
١٧	أسئلة التقويم
٢٠	المراجع

الجهاز البولي

Urinary System

مقدمة الفصل

كل يوم، تنتج خلايا جسمك مواد كيميائية زائدة نتيجة أكسدة الغذاء لإنتاج الطاقة، وإذا تُركت هذه الفضلات دون تخلص، فإنها تُغيّر التوازن الطبيعي للدم وتضر بخلايا الجسم وأنسجته. لهذا يعمل جهازك البولي بصمت، ليصْفِي نحو ١٨٠ لترًا من الدم يوميًا، ويخرج منها ما يقارب لترًا ونصف اللتر على هيئة بول. فما تركيب هذا الجهاز؟ وكيف يعمل على تخلص الجسم من فائض المواد؟ وما المشكلات الصحية التي قد يتعرض لها؟

هل تعلم؟

يحتوي كل من كليتيك على نحو ١,٣ مليون نفرون، وإذا وُضعت كل الأنابيب الكلوية في الجسم البشري بشكل متتابع فقد يصل طولها إلى نحو ٨٠ كم!

٣-١ تركيب الجهاز البولي

يتكوّن الجهاز البولي من أربعة أعضاء رئيسة تعمل معًا في منظومة متكاملة: الكليتان، والحالبان، والمثانة البولية، والإحليل (قناة مجرى البول). يبدأ الدم رحلته محمّلًا بالفضلات عبر الشريان الكلوي، ليُرشَّح داخل الكلية، ثم يُساق البول الناتج عبر الحالب إلى المثانة حيث يُخترن مؤقتًا قبل خروجه من الجسم.



شكل (١): تمثيل تخطيطي لخطوات تكوين البول (وُصف بالتفصيل في البند ٣-٣)

١- الكليتان (Kidneys)

توجد للإنسان كليتان، تقعان في الجهة الظهرية من تجويف البطن على جانبي العمود الفقري، ومدفونتان في أنسجة شحمية واقية. وتكون الكلية اليسرى غالبًا أعلى قليلًا من اليمنى؛ بسبب وجود الكبد أسفل الكلية اليمنى، ما يدفعها للأسفل قليلًا. يتكوّن المقطع الطولي للكلية من منطقتين رئيسيتين: القشرة (المنطقة الخارجية الداكنة الغنية بالأوعية الدموية)، والنخاع (المنطقة الداخلية السميكة المكوّنة من تراكيب مخروطية تُسمى أهرامات الكلية). وتحتوي هذه الأهرامات على آلاف الوحدات الأنبوبية الكلوية التي تصب نواتجها في حوض الكلية المتصل بالحالب.

الكلى | Kidney

عضو بولي على شكل حبة الفاصولياء، مسؤول عن ترشيح الدم وتكوين البول.

القشرة الكلوية | Renal Cortex

الطبقة الخارجية للكلى، الداكنة اللون، الغنية بالأوعية الدموية والكبيبات.

النخاع الكلوي | *Renal Medulla*

الطبقة الداخلية للكلى المكونة من أهرامات كلوية تحوي الأنابيب الكلوية.

٢- الحالبان (Ureters)

الحالب أنبوب رفيع مكون من عضلات ملساء لا إرادية، يمتد من حوض الكلى إلى المثانة. تنقبض جدران الحالب بحركة تمعجية منتظمة تدفع البول تدريجيًا نحو المثانة، حتى دون الاعتماد على الجاذبية الأرضية وحدها.

٣- المثانة البولية (Urinary Bladder)

كيس عضلي قابل للتمدد، يستقبل البول القادم من الكليتين عبر الحالبين، ويحتفظ به بشكل مؤقت إلى حين تفرغه إلى خارج الجسم. تتصل المثانة بقناة مجرى البول (الإحليل) التي تكون عند الذكر قناة بولية تناسلية مشتركة، بينما تنتهي عند الأنثى بفتحة بولية مستقلة عن الفتحة التناسلية.

ناقش

يوجد أعلى كل كلية غدة تُسمى الغدة الكظرية (فوق الكلوية)، تفرز هرمونات لبعضها علاقة بتكوين البول (مثل الألدوستيرون والهرمون المضاد لإدرار البول ADH). ناقش مع زملائك آلية عمل هذه الهرمونات ودورها في ضبط كمية الماء والأملاح في البول.

سؤال

يستطيع الإنسان السليم العيش بكلية واحدة، والتبرع بإحدى كليتيه، دون أن يؤثر ذلك في صحته. فسّر ذلك. ماذا تتوقع أن يحدث لو تمّ انسداد الحالب، أو حوض الكلية بحصوات ناتجة عن ترسّب الأملاح؟

٣-٢ تركيب الوحدة الأنبوبية الكلوية (Nephron)

تتكون كل كلية من وحدات أنبوبية صغيرة تُسمى الوحدة الكلوية أو النفرون، وهو وحدة التركيب والوظيفة في الكلية، وتحتوي كل كلية حوالي ١,٣ مليون من هذه النفرونات. ولكل نفرون أربعة أجزاء رئيسية يمر عبرها السائل الراشح تباعاً:

النفرون | Nephron

الوحدة البنائية والوظيفية للكلية، ويقوم بترشيح الدم وتكوين البول.

الوصف الوظيفي	المسمى العلمي	الجزء
كيس مزدوج الجدران يحصر شعيرات دموية (الكبة) تتم عندها عملية الترشيح.	Bowman's Capsule	محفظة بومان
متصل بمحفظة بومان مباشرة، وتتم فيه أكبر نسبة من إعادة الامتصاص.	Proximal Convolted Tubule	الأنبوب الملتوي القريب
انحناء رفيع على شكل حرف U، يساعد في تركيز البول وإعادة امتصاص الماء والأملاح.	Loop of Henle	التواء هنلي
يتم فيه الإفراز الأنبوبي الانتقائي، ثم يصب في الأنبوب الجامع.	Distal Convolted Tubule	الأنبوب الملتوي البعيد

تقع محفظة بومان في منطقة القشرة، وتحصر مجموعة كبيرة من الشعيرات الدموية تُدعى الكبة (Glomerulus)، والتي تقع بين شريانين: الشريين الوارد الذي يجلب الدم إلى المحفظة، والشريين الصادر الذي يحمل الدم بعيداً عنها. أما الأنبوب الملتوي البعيد فيصب في أنبوب واسع يُسمى الأنبوب الجامع (Collecting Duct)، الذي يفتح بالقرب من أهرامات الكلية في حوض الكلية.

٣-٣ خطوات تكوين البول

تمرّ مراحل تكوين البول بثلاث خطوات رئيسة متتابعة داخل النفرون:



شكل (٢): المراحل الثلاث لتكوين البول داخل النفرون

أولاً: الترشيح (Filtration)

عند وصول الدم إلى الكلية داخل محفظة بومان، يُرشّح سائل من خلال شعيرات الكلية يحتوي موادّ ضارة ونافعة، ويخلو نسبياً من البروتينات الكبيرة الحجم لأن جدران الشعيرات لا تسمح بمرورها. ويساعد على ذلك ارتفاع ضغط الدم في الشعيرات الدموية للكلية، والنفاذية العالية لجدرانها مقارنة بباقي الشعيرات الدموية في الجسم.

ثانياً: إعادة الامتصاص (Reabsorption)

تتم إعادة امتصاص نحو ٩٩٪ من السائل الراشح الغني بالمواد النافعة، مثل الغلوكوز والماء والأملاح، من خلال خلايا جدار الأنابيب المكوّنة للوحدات الأنبوبية الكلوية، لتعود إلى الدم. أما ما تبقى (نحو ١٪ من السائل الراشح) فيشكل البول (Urine).

ثالثاً: الإفراز الأنبوبي (Tubular Secretion)

بعض المواد لا تُرشّح من الكلية إلى تجويف محفظة بومان، مثل أيونات الهيدروجين وأيونات البوتاسيوم، ويتم التخلص منها بعملية انتقائية؛ إذ تسير هذه الأيونات في الشُرَين الصادر حتى تصل إلى الأنبوب الملتوي البعيد، فتقوم خلايا جدار الأنبوب بفصلها عن الدم وإضافتها إلى مكوّنات البول.

ناقش

ما أهمية عملية إعادة الامتصاص التي تحدث عبر الأنابيب الكلوية؟

جدول مقارنة بين مراحل تكوين البول

المرحلة	الموقع	الاتجاه	أمثلة على المواد
الترشيح	الكلية → محفظة بومان	من الدم إلى الأنبوب	ماء، غلوكوز، أملاح، يوريا، أحماض أمينية
إعادة الامتصاص	الأنابيب الملتوية والتواء هنلي	من الأنبوب إلى الدم	غلوكوز، ماء، أملاح، أحماض أمينية
الإفراز الأنبوبي	الأنبوب الملتوي البعيد	من الدم إلى الأنبوب	أيونات الهيدروجين، أيونات البوتاسيوم

٣-٤ الفضلات النيتروجينية

يقوم الكبد بتحطيم السموم، وتخليص الجسم من الحموض الأمينية الزائدة التي يتناولها الإنسان بكميات أكثر من حاجته لتكوين البروتين، وتتم هذه العملية في خطوتين رئيسيتين:

١. نزع مجموعة الأمين من الحمض الأميني الزائد لتكوين الأمونيا (NH_3)، وهي مادة شديدة السمية.
٢. تحويل الأمونيا إلى بولينا (يوريا)، وهي مادة أقل سمية من الأمونيا، تنتقل من الكبد إلى الكلية عبر الدم، فتقوم الكليتان بإخراجها مع البول.

الأمونيا | *Ammonia (NH₃)*

مادة نيتروجينية شديدة السمية، ناتجة عن نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية الزائدة.

البولينا (اليوريا) | *Urea*

المادة الرئيسة للفضلات النيتروجينية في البول، تتكون في الكبد من اتحاد جزيئي أمونيا مع ثاني أكسيد الكربون.

حمض البوليك | *Uric Acid*

فضلة نيتروجينية ناتجة عن أيض المواد النيتروجينية التي تدخل في تركيب المادة الوراثية DNA.

والفضلات النيتروجينية لا تقتصر على البولينا، بل هناك فضلات أخرى، أبرزها حمض البوليك الناتج من أيض مواد نيتروجينية تدخل في تركيب المادة الوراثية (DNA). وإذا لم يتخلص الجسم من هذه الفضلات بكفاءة، فقد تتراكم في الدم مسببة اضطرابات خطيرة، مثل النقرس (تراكم بلورات حمض البوليك في المفاصل) أو التسمم اليوريمي.

نصيحة صحية

احرص على شرب كمية كافية من الماء يوميًا (نحو ٨ أكواب) لمساعدة الكليتين على التخلص من الفضلات النيتروجينية بكفاءة، وتقليل خطر تكون حصي الكلية.

٣-٥ مشكلات صحية للجهاز البولي

يقوم الجهاز البولي بتصفية الدم من الفضلات، وإخراج ما يقارب لترًا ونصف من الماء يوميًا على شكل بول. وأي اضطراب في عمل هذا الجهاز يؤثر سلبيًا في الجسم كله، ومن أبرز هذه المشكلات:

الفشل الكلوي (Renal Failure)

هو حدوث قصور في عمل الكلية، وعدم قدرتها على ترشيح الفضلات من الدم؛ ما يؤدي إلى اختلال عام في الجسم. ويحدث ذلك لأسباب عدة، منها: التهاب الكليتين، أو تلف أنسجة الكلية، أو تناول بعض الأدوية والسموم، أو مضاعفات مرض السكري وارتفاع ضغط الدم على المدى الطويل. ويمكن تجنب الفشل الكلوي بالاهتمام بشرب المياه باستمرار، وتجنب الإفراط في تناول الموالح والمخللات والمشروبات الغازية والأطعمة المدخنة، وعدم الإسراف في تناول البروتينات، وممارسة التمارين الرياضية.

وفي حالة حدوث الفشل الكلوي، يجب تنقية الدم بطريقة صناعية تُسمى غسيل الكلى (Dialysis)، وهي عملية تنقية الدم من المواد السامة، بمعاملته مع محلول سائل يشبه تركيبه بلازما الدم، يُسمى محلول الديليزة، باستخدام جهاز يُعرف بالكلية الصناعية.

حصى الكلية (Kidney Stones)

تُعدّ أملاح الكالسيوم سببًا رئيسيًا في تكوّن حصى الكلية؛ لضعف ذوبانها في الماء نسبيًا. أما الأملاح الأخرى، كأملح الصوديوم، فهي عالية الذوبان، فيتخلص منها الجسم عن طريق ترشيحها إلى محفظة بومان، ثم خروجها مع البول دون أن تترسب.

أبحاث

أبحث عن الفرق بين حصى الكلية وحصى المرارة من حيث التركيب الكيميائي وموقع التكوّن.

الفروقات: الفشل الكلوي مقابل حصى الكلية

حصى الكلية	الفشل الكلوي	وجه المقارنة
تكوّن ترسبات صلبة من الأملاح داخل الكلية	قصور في قدرة الكلية على ترشيح الفضلات	التعريف
ترسب أملاح الكالسيوم بشكل رئيس	التهابات، أدوية، أمراض مزمنة	السبب الشائع
الليزر أو الأمواج الصوتية فوق الصوتية	غسيل الكلى أو زراعة الكلية	طريقة العلاج

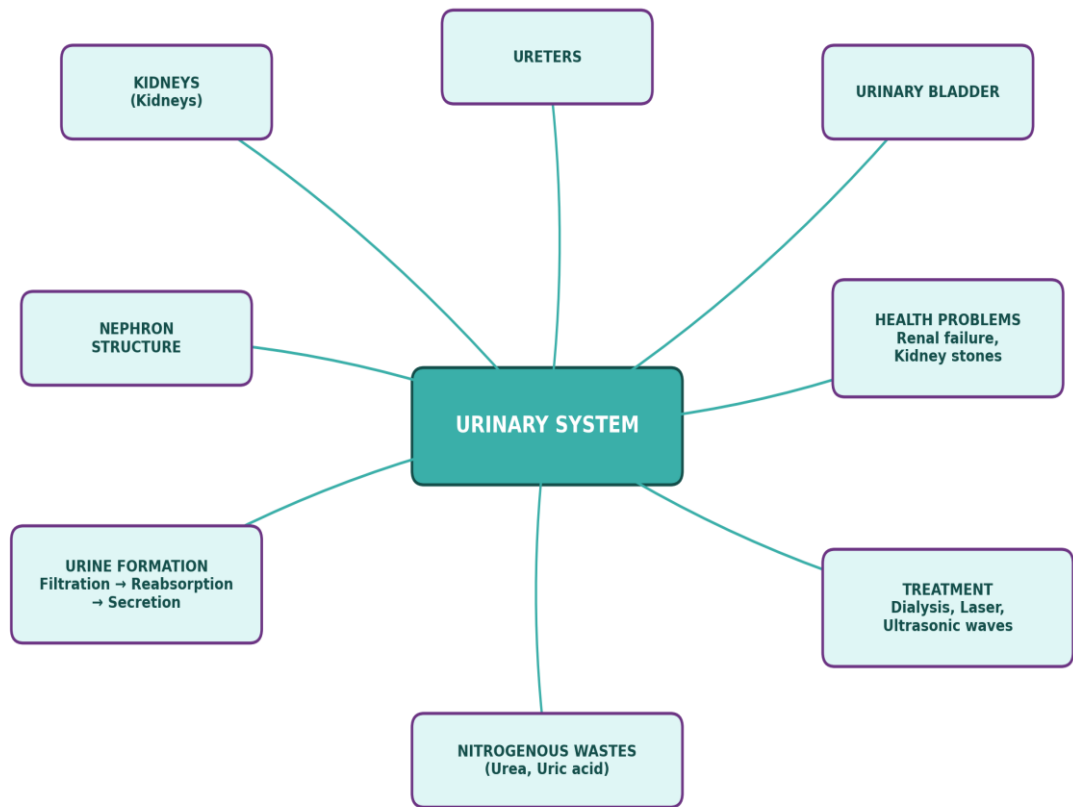
تطبيقات صناعية وتقنية حديثة

- الطب: تطوير أجهزة الديليزة (الكلية الصناعية) المحمولة التي تتيح غسيل الدم أثناء تنقل المريض.
- التكنولوجيا الحيوية: أبحاث الهندسة النسيجية لزراعة أنسجة كلوية مخبرية (Bioprinted kidneys).
- التقنيات الحديثة: استخدام الليزر الليفي البصري لتفتيت حصى الكلية دون جراحة مفتوحة.
- التقنيات الحديثة: استخدام الأمواج فوق الصوتية الصادمة لتفتيت الحصى إلى قطع صغيرة تخرج مع البول.

التطبيقات الحياتية

- متابعة تحليل البول الدوري يساعد على الكشف المبكر عن مشكلات الكلية والسكري.
- التقليل من الملح في الطعام يقلل العبء على الكليتين ويخفض ضغط الدم.
- شرب الماء بانتظام خلال اليوم -وخاصة في الأجواء الحارة- يقي من تركّز الأملاح وتكوّن الحصى.

الخريطة المفاهيمية للفصل



شكل (٣): خريطة مفاهيمية تلخص أهم عناصر فصل الجهاز البولي

ملخص الفصل

أهم الأفكار

- يتكوّن الجهاز البولي من الكليتين، والحالبين، والمثانة البولية، وقناة مجرى البول.
- النفرون هو وحدة التركيب والوظيفة في الكلية، ويتكوّن من محفظة بومان، والأنبوب الملتوي القريب، والتواء هنلي، والأنبوب الملتوي البعيد.
- يمر تكوين البول بثلاث مراحل: الترشيح، وإعادة الامتصاص، والإفراز الأنبوبي.
- يحوّل الكبد الأمونيا السامة إلى بولينا أقل سميّة، تُطرح مع البول عبر الكليتين.
- الفشل الكلوي وحصى الكلية من أبرز المشكلات الصحية للجهاز البولي، ولكل منهما أسلوب علاج مختلف.

أهم المصطلحات

- Excretion — الإخراج
- Nephron — النفرون
- Glomerulus — الكبة
- Bowman's Capsule — محفظة بومان
- Loop of Henle — التواء هنلي
- Urea — البولينا
- Dialysis — غسيل الكلى

أهم النقاط الواجب حفظها

١. ترتيب مسار البول: الكلية → الحالب → المثانة → قناة مجرى البول.
الأنبوب الملتوي البعيد → الأنبوب الملتوي القريب → التواء هنلي → الأنبوب الملتوي البعيد → الأنبوب الجامع → حوض الكلية
٢. نسبة إعادة الامتصاص في الأنبابيب الكلوية تبلغ نحو ٩٩٪ من السائل الراشح.
٣. الأمونيا أكثر سميّة من البولينا، وتحويلها في الكبد آلية حماية للجسم.

أسئلة التقويم

تدرّج الأسئلة التالية من المستوى السهل إلى المتوسط ثم الصعب، وتغطي مستويات بلوم المعرفية المختلفة.

أولاً: صح أو خطأ

١. يتكوّن الجهاز البولي من كليتين وحالبين ومثانة واحدة وقناة مجرى بول واحدة. ()
٢. تتم عملية الترشيح داخل الأنبوب الملتوي البعيد. ()
٣. الأمونيا أقل سُمّية من البولينا. ()
٤. يمكن للإنسان أن يعيش بصحة جيدة بكلية واحدة فقط. ()

ثانياً: أكمل الفراغات

١. تُسمى الوحدة البنائية والوظيفية للكلية بـ
٢. تحدث عملية الترشيح داخل التي تحصر شبكة من الشعيرات الدموية تُسمى
٣. يتم تحويل الأمونيا السامة إلى في الكبد.

ثالثاً: اختيار من متعدد

١. ما المادة التي تتم إعادة امتصاصها بنسبة كبيرة في الوحدة الأنبوبية الكلوية؟
أ- حمض البوليك ب- الجلوكوز ج- أيونات الهيدروجين د- البولينا
٢. أي أجزاء النفرون يكون على شكل حرف U؟
أ- الأنبوب الجامع ب- التواء هنلي ج- الأنبوب الملتوي القريب د- محفظة بومان

رابعاً: علّل

١. تركيز البولينا في البول أعلى من تركيزها في السائل الراشح.
٢. لا تحتوي محفظة بومان على بروتينات كبيرة الحجم في السائل المرشح فيها.
٣. غالباً ما تكون الكلية اليسرى أعلى قليلاً من الكلية اليمنى.

خامساً: قارن

١. قارن بين الترشيح وإعادة الامتصاص من حيث الموقع واتجاه حركة المواد.
٢. قارن بين الفشل الكلوي وحصى الكلية من حيث السبب وطريقة العلاج.

سادساً: رتّب

١. رتّب المراحل التالية حسب تسلسل تكوين البول: (الإفراز الأنبوبي - الترشيح - إعادة الامتصاص).
٢. رتّب الأجزاء التالية حسب مسار البول: (حوض الكلية - محفظة بومان - الحالب - الأنبوب الملتوي البعيد - المثانة).

سابعاً: صل

- محفظة بومان ← عملية الترشيح
- الكبد ← تحويل الأمونيا إلى بولينا
- الحالب ← نقل البول إلى المثانة بحركة تمعّجية
- غسيل الكلى ← علاج الفشل الكلوي

ثامناً: فسّر

١. فسّر سبب حاجة الجسم لعملية الإفراز الأنبوبي رغم وجود عملية الترشيح.
٢. فسّر لماذا يُعدّ شرب الماء بانتظام وسيلة وقائية من حصى الكلية.

تاسعًا: استنتج

١. إذا ارتفع تركيز البروتين في عينة بول لشخص ما، ماذا تستنتج عن حالة الغشاء الترشيحي في كبيباته؟
٢. استنتج العلاقة بين انخفاض شرب الماء يوميًا واحتمال الإصابة بحصى الكلية.

عاشرًا: حلل الرسوم

١. بالرجوع إلى شكل (٣) الخريطة المفاهيمية، حلل العلاقة بين «المشكلات الصحية» و«طرق العلاج» الموضحة فيها.
٢. بالرجوع إلى شكل (٢)، حدد أي المراحل تنقل مواد من الدم إلى الأنبوب، وأيها تنقل مواد من الأنبوب إلى الدم.

حادي عشر: أسئلة تطبيقية

١. يعاني مريض من ارتفاع مزمن في ضغط الدم. اشرح كيف يمكن أن يؤثر ذلك على وظائف الكلية على المدى الطويل.
٢. اقترح ثلاث عادات غذائية يومية تحمي الجهاز البولي من الفشل الكلوي وحصى الكلية.

ثاني عشر: أسئلة التفكير الناقد وحل المشكلات

١. لماذا تُعدّ زراعة الكلية حلاً أفضل من الديليزة المستمرة لمريض الفشل الكلوي من الناحية الفسيولوجية؟ ناقش الإيجابيات والتحديات.
٢. لو انخفض ضغط الدم في الشعيرات الدموية للكبة بشكل حاد، صف ماذا سيحدث لمعدل الترشيح الكبيبي ولماذا؟

ثالث عشر: أسئلة مقالية قصيرة

١. اشرح في فقرة واحدة كيف يتعاون الكبد والكلية في التخلص من الفضلات النيتروجينية.

رابع عشر: أسئلة مفتوحة (دون إجابة محددة)

- ما رأيك في التوسّع بزراعة الأعضاء المطبوعة حيويًا (Bioprinting) كبديل مستقبلي لغسيل الكلية؟
- كيف تتخيل تطور تقنيات علاج أمراض الكلية خلال العشرين عامًا القادمة؟

المراجع

- National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK/NIH) — معلومات حول تركيب الكلية ووظائفها.
- World Health Organization (WHO) — بيانات حول أمراض الكلى المزمنة والوقاية منها.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI/PubMed) — أبحاث حديثة حول الترشيح الكبيبي والديليزة.
- المنهج الوطني لمادة الأحياء — الصف العاشر (المصدر الأساسي لمحتوى هذا الفصل).