# الفصل الرابع

## الفحوصات الكيميائية

يمكن الحصول على كثير من المعلومات من خلال الفحوصات الكيميائية للبول التي تلزم في كثير من الأحيان لغرض التشخيص النهائي. ويفحص البول للمكونات الكيميائية التالية :

١ – البروتين.

٢ – الجلوكوز.

٣ – الفركتوز.

٤ – اللاكتوز.

٥ – الجلاكتوز.

٦ – المواد الكيتونية (الأسيتون).

٧ – الدم والهيموجلوبين.

٨ – الأصبغة الصفراء.

٩ – فينل حمض البايروفيك.

١٠ – النيتريت.

١١ – البورفيرينات.

١٢ – الأوكزلات.

١٣- الأملاز.
١٤- اليوريا.
١٥- الكالسيوم.
١٦- الصوديوم.
١٧- الكلوريدات.
١٨- الفسفور.
١٩- الرصاص.
٢٠- النحاس.
٢١- كيتوستيرويد ١٧.
٢٢- الحموض الأمينية.
٢٣- الكرياتنين.
٢٤- الكليوس.
٢٥- حمض فنيل الماندليك.
٢٦- هيدروكسي حمض الخليك الإندولي.

## البروتين

يعرف ظهور البروتين بالبول بالتبول البروتيني Proteinuria . لا تتعدي كمية البروتين المفرزة يوميا ٥٠ - ١٠٠ ملجم وهذا يعني أن تركيز البروتين في الإنسان السوي لا يزيد عن ٢ - ٨ ملجم/١٠٠ سم$^{3}$ بول. ويشكل الألبومين ثلث البروتين الطبيعي، بينما يشكل كل من جلوبيولين الفا-١ وجلوبيولين الفا-٢ معظم الجزء المتبقي إضافة إلى كمية قليلة من جلوبيلين بيتا وجلوبيولين جاما. كذلك قد يوجد بروتين تام هورس فول Tamm-Horsfall بالبول الطبيعي بتركيز لايزيد عن ٢ ملجم/١٠٠سم$^{3}$. وهذا البروتين عبارة عن جلايكول عديد التسكر، ومواد بروتينية من نوع ألفا - جلوبيولين يفرز من خلايا عروة هانلة الصاعدة ومن خلايا الأنبوب

البولي الملتف البعيد. يشكل بروتين تام هورس فول المادة الأساسية المكونة للأشرطة البولية. ويظهر هذا البروتين في حالات الجفاف وكذلك عند تركيز البول، ووجوده بالبول مؤشر على حالة التكيس الخلالي Interstitial cystitis كما يرتفع تركيزه في بعض أمراض الكلية، خاصة المتعلقة بالنبيبات البولية. ويُعد ظهور البروتين بتركيز مرتفع في البول من أهم المؤشرات على مرض بالجهاز البولي. وفي الحالات المرضية يشكل الألبومين أكثر من ثلثي بروتين البول. كما أن وجود أي من أنواع البروتينات البولية التالية هو كذلك مؤشر على خلل، أو مرض في الكلية (الجدول رقم ٥).

١- البروتين المرتبط بالرتنول Retinol binding protein.

٢- ألفا ٢ جلوبيولين الدقيق α-2-microglobulin.

٣- الترانسفرين Transferin.

٤- البروتين المناعي IgG.

٥- ألفا ٢جلوبيولين الكبير α-2-macroglobulin.

**الجدول رقم (٥). العلاقة بين أنواع التبول البروتيني والبروتينات البولية المرضية.**

| المرض | البروتين المناعي IgG | الترانسفرين | ألفا جلوبيولين الدقيق |
|---|---|---|---|
| التبول البروتيني النبيبي Tubular proteinurea | − | − | + |
| التبول البروتيني الكبيبي الاختياري Selective glomerular proteinurea | − | + | − |
| التبول الكبيبي غير الاختياري Non-selective glomerular proteinurea | + | + | − |
| التبول البروتيني المختلط النبيبي الاختياري Selective mixed glomerular proteinurea | − | + | + |
| التبول البروتيني المختلط النبيبي الكبيبي الاختياري وغير الاختياري Selective and non-selective tubularñ glomerular proteinurea | + | + | + |

ويشير وجود بروتين ألفا ٢الجلوبيولين الكبير، وبروتين المرتبط بالريتنول على تلف في أنسجة النبيبات والكبب البولية، ومؤشر على فشل كلوي. ويصنف التبول البروتيني تبعًا لتركيز البروتين بالبول إلى الأنواع الثلاثة التالية:

**أ) التبول البروتيني الشديد**: يتجاوز التركيز في هذا النوع أكثر من ٤ جم/بول ٢٤ س وينشأ عن الحالات التالية:

- المتلازمة النفروزية Nephrotic syndrome التي تظهر عند الأطفال لأسباب غير واضحة، بينما ترتبط عند البالغين في بعض الأمراض وابتلاع المواد السامة، ويصاحبها تبول البيوميني، وتورم (أديما Oedema)، وظهور أشرطة بولية.
- التكيس الكلوي.
- مرض الأميلويد Amyloid.
- الذئبية الحمراء Lupus erythematosus.

**ب) التبول البروتيني المتوسط**: يتراوح مدى ما يطرحه الجسم من بروتين ما بين ٠,٥ – ٤ جم/٢٤ س. ويكون ذلك في الحالات التالية:

- مرض النفيوم المتعدد Multiple myeloma.
- الحصوات البولية.
- التهاب الكبب الكلوية الحاد والمزمن الناتج في كثير الأحيان عن مضاعفات تفاعل مناعي لإصابة سابقة ببكتيريا المكورة العقدية *Streptococcus*، حيث يلازم هذه الإصابة أثناء الالتهاب الحاد تبول البيوميني وهيمي، والتبول القليل، أما في حالة الإصابة المزمنة فإنه يصاحبها تبول بروتيني، وتليف في الكبب، وتبول ليلي Nocturia.
- التهاب الكلية المزمن والحاد.
- قصور القلب الاحتقاني.

**ج) التبول البروتيني الخفيف:** وهنا لا يزيد ما يطرحه الجسم من بروتين في البول عن ٠,٥ جم/٢٤ س. ويحدث ذلك في الحالات التالية:

- التهاب الكبب الكلوية الكامن.
- التكيس المتعدد للكلية.
- الوقوف أو المشي لمدة طويلة.
- الحمل.

وتجدر الإشارة إلى أن هنالك بعض الأشخاص يرتفع البروتين في بولهم بسبب الوقوف، وقد يصل بسبب ذلك حتى ١جم/٢٤ س. وتشاهد هذه الحالة في ٣-٥٪ من البالغين، ويعرف هذا النوع من التبول البروتيني الانتصابي Postural protenuria. كما قد يرتفع تركيز بروتين خاص يعرف ببروتين بنسي جونز Bence Jones protein في البول في حالات مرضية خطيرة، مثل النفيوم المتعدد، وأمراض العظام، خاصة الخبيثة منها، وكذلك في حالة سرطان الدم (اللوكيميا) Leukemia. يترسب هذا البروتين عند حرارة ٥٠ -٦٠°م، وإذا ما ارتفعت درجة الحرارة إلى ٨٠°م عندئذ ينحل من جديد. وإذا برد من جديد يترسب عند الدرجة ٥٠-٦٠°م ثم ينحل إذا ما انخفضت درجة الحرارة إلى أقل من ٥٠°م. ويُعد هذا البروتين ذا أهمية كبيرة من الناحية التشخيصية.

يتم الكشف عن البروتين بالبول عن طريق ترسيبه إما بواسطة الحمض وإما بواسطة الحرارة وإما باستخدام الأشرطة القرصية (الشكل رقم ٢٣). ويمكن ترسيب بروتين البول بواسطة الحرارة تبعًا للخطوات التالية:

١- يؤخذ ٥ سم$^3$ من عينة البول وتوضع في أنبوب اختبار.

٢- يمسك الأنبوب بواسطة ماسك معدني ثم يوضع في حمام مائي به ماء يغلي. كما يمكن أن يوضع مباشرة فوق لهب، فإذا تكونت عكارة كان الراسب المتكون إما بروتين وإما فوسفات، ولتحديد أي منها يتبع ما يلي:

تضاف عدة نقاط من حمض الخليك الثلجي (٥٪) فإذا اختفى الراسب كان فوسفاتًا وإذا لم يذب عُدَّ ألبومينًا. وهذه الطريقة حساسة حتى ٢-٣ ملجم/١٠٠ سم$^3$ بول.

**الشكل رقم (٢٣). صورة فوتوغرافية تظهر طريقة الكشف عن البروتين بالبول باستخدام الأشرطة القرصية.**

كذلك يمكن ترسيب بروتين البول بواسطة الحمض باستخدام طريقة حمض السلفوساليسيليك Sulfosalicylic acid method تبعًا للخطوات التالية :

١- تؤخذ ٥ سم$^3$ من عينة البول وتوضع في أنبوب اختبار.

٢- تضاف نقطتين من محلول حمض سلفوساليسيليك (٢٠٪).

٣- يلاحظ الأنبوب لتكون عكارة أو راسب ، وإن شوهدت فهي عبارة عن ألبومين ، وإذا لم تتشكل عكارة أو راسب أبيض دل ذلك على خلو البول من الألبومين.

**تقدير البروتين في البول**

١- يؤخذ ١ سم$^3$ من البول بعد ترشحيه إذا كان عكرًا ، ويوضع في أنبوب اختبار.

٢- يضاف إلى الأنبوب ٣ سم$^3$ من محلول حمض السلفوساليسيلك (٣٪).

٣- يمزج الخليط ويترك لمدة ٥ دقائق.

٤- تقارن العكارة المتكونة مع أنابيب قياسية عوملت بنفس الطريقة تحتوي على التراكيز التالية من البروتين (٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٤ ، ٠,٦ ، ٠,٨ ، ١جم/ل).

**النتيجة**

يسجل مقدار الألبومين جم/ل، وإذا كانت النتيجة أكثر من ١ جم/ل فإنه يتم تخفيف البول بمحلول كلوريد الصوديوم، ويعاد الاختبار.

**الكشف عن بروتين بنسي جونز**

بروتين بنسي جونز Bence Jones protein عالي التجانس، يتكون من جلوبيولين مناعي تولده خلايا منوية مسرطنة، وكما يظهر في بول المصابين بالنفيوم وكذلك في حالة ورم الخلايا البلازمية. ويمكن الكشف عن هذا البروتين تبعًا للخطوات التالية:

١- يضاف إلى ١٠ سم$^{٣}$ من عينة البول حمض خليك ثلجي (٣٪) بالتدريج، نقطة تلو الأخرى حتى يصبح الرقم الهيدروجيني للبول = ٥.

٢- تخلط المحتويات جيداً ثم تغلى في حمام مائي.

٣- ترشح العينة؛ وذلك لفصل البروتينات الأخرى المترسبة.

٤- يلاحظ تكون عكارة من بروتين بنسي جونز مابين ٧٠ - ٤٥°م أثناء ترك عينة البول جانبًا لتبرد، حيث تختفي العكارة مرة أخرى بعد أن تبرد دون حرارة ٤٥°م.

## الجلوكوز

يعرف ظهور الجلوكوز بالبول بالتبول الجلوكوزي Glucosuria أو Glycosuria. ويظهر الجلوكوز في البول لأمرين رئيسين، وهما عندما يرتفع تركيز الجلوكوز بالدم إلى درجة لا تستطيع معه النبيبات البولية إعادة ما يرشح إليها من الجلوكوز، وإعادته إلى الدم مرة أخرى بسبب ارتفاع تركيزه، وقد تعزى هذه الحالة لأسباب مرضيه أو فسيولوجية. أما الحالة الأخرى، فهي عندما يحدث خلل في عمل النبيبات البولية،

وتصبح غير قادرة على إعادة امتصاص الجلوكوز، على الرغم من أن مستوى الجلوكوز بالدم لم يتجاوز معدله الطبيعي. هنالك مسببات عدة تؤثر على عمل النبيبات البولية، مثل دخول تراكيز مرتفعة من العناصر الثقيلة إلى الجسم، وكذلك الصدمات العاطفية قد تؤدي إلى مثل هذه الحالة. ومن أهم مضاعفات السكر البولي إصابة الكليتين بالفشل، ولقد وجد حديثاً أن حوالي ١٤٪ من المرضى الموجودين على الغسيل الدموي في المملكة العربية السعودية بسبب السكر البولي. وتعادل هذه النسبة ما هي عليه في أوروبا، حيث يصل إلى ١٥٪ ولكن هذا أقل بكثير من النسبة في أمريكا، حيث تصل إلى ٣٠٪. وفيما يلي مسببات التبول الجلوكوزي المصاحب لارتفاع مستوى الجلوكوز بالدم:

١- مرض السكري Diabetes mellitus، ويعتبر هذا المرض المسئول الأول عن حالات التبول الجلوكوزي الذي يعزى إلى عدم توفر الإنسولين الذي تفرزه غدة البنكرياس من أجل أيض الجلوكوز.

٢- خلل في غدد صماء أخرى، مثل تضخم الغدة الدرقية، ومتلازمة كوشنغ Cushing's syndrome (ضمور الأعضاء التناسلية بسبب ورم في قشرة الغدة الكظرية)، وكذلك مرض تضخم الأطراف Acromegaly المرتبط بالنشاط الزائد للغدة النخامية.

٣- أمراض البنكرياس، مثل التليف الكيسي، والتهاب البنكرياس المزمن، وسرطان البنكرياس.

٤- اضطراب في عمل الجهاز العصبي المركزي الذي قد تحدثه مسببات عديدة من النزف، والأورام، وغير ذلك.

٥- المراحل المتقدمة من أمراض الكبد.

أما مسببات التبول الجلوكوزي الذي لا يصاحبه ارتفاع لتركيز الجلوكوز في الدم فيمكن تحديد أهمها فيما يلي:

١- ضعف في أداء النبيبات البولية.

٢- التسمم بالعناصر الثقيلة، خاصة الرصاص، والزئبق.

٣- الصدمات العاطفية.

٤- الحمل (يجب تمييز ذلك عن السكري المصاحب للحمل).

٥- اضطراب بعمل الكلية بسبب التسمم بالتتراسيكلين.

يفحص الجلوكوز بالبول بعدة طرق، إلا أنه تستخدم طريقتان على نطاق واسع، هما:

١- بواسطة أكسدة معادن معينة بواسطة الجلوكوز إن وجد بالبول.

٢- الأكسدة بواسطة أكسداز الجلوكوز Glucose oxidase.

ومن الأمثلة على الطريقة الأولى، فحص بندكيت Benedict's test (الشكل رقم ٢٤) حيث يعمل الجلوكوز على اختزال أيون النحاسيك في محلول بندكت المحتوي على كبريتات النحاسيك زرقاء اللون، وتحولها إلى أيون النحاسوز على هيئة أكسيد النحاسوز فيتكون لون يتراوح من الأخضر إلى الأصفر إلى البرتقالي إلى الأحمر، تبعًا لتركيز أكسيد النحاسوز المتكون.

**الشكل رقم (٢٤). صورة فوتوغرافية تظهر نتيجة الكشف كيميائيًا عن السكر بالبول.**

**خطوات العمل**

١- تنقل ٥ سم$^{٣}$ من محلول بندكت إلى أنبوب اختبار.

٢- تضاف إلى أنبوب الاختبار ٨ نقاط من البول.

٣- يغلي الأنبوب على لهب بنزن، أو يوضع في حمام مائي به ماء يغلي ويترك المزيج لمدة ٥ - ١٠ دقائق.

٤- يترك المزيج يبرد، ثم تدون النتائج تبعًا للجدول رقم (٦).

**الجدول رقم (٦). دلالات الألوان في فحص بندكت مع تركيز الجلوكوز بالبول.**

| اللون | النتيجة | التركيز التقريبي (ممول/ل) |
|---|---|---|
| أزرق | - | صفر |
| أخضر | ± | ١٤ |
| أخضر مع راسب أصفر | + | ٢٨ |
| أصفر | ++ | ٥٦ |
| بني | +++ | ٨٣ |
| برتقالي/أحمر | ++++ | ١١١ |

وهذه الطريقة في الكشف عن الجلوكوز دقيقة، حيث تظهر نتائج إيجابية عندما يصل تركيز الجلوكوز حتى ١٠٠ ملجم/١٠٠ سم$^{٣}$ بول. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة ليست خاصة بسكر الجلوكوز، بل إن أي مادة مختزلة بالبول يمكن أن تعطي نتائج إيجابية للسكاكر المختزلة الأخرى، مثل الجلاكتوز، واللاكتوز، والفركتوز، والمالتوز، وحمض الأسكوربيك، وكثير من المضادات الحيوية. إلا أن السكروز لا يعطي نتائج إيجابية مع هذا الفحص.

أما طريقة أكسداز الجلوكوز Glucose oxidase فهي خاصة بالكشف عن سكر الجلوكوز D-glucose دون غيره من السكاكر المختزلة الأخرى، مثل اللاكتوز، والفركتوز، والجلاكتوز، حيث هذه السكاكر ليست مواد خاضعة لإنزيم أكسداز الجلوكوز. ويمكن تلخيص ميكانيكية هذا التفاعل كما يلي:

١- جلوكوز + أكسجين ← (أكسداز الجلوكوز) حمض الجلوكورنيك + فوق أكسيد الهيدروجين

٢- فوق أكسيد الهدروجين + أورثوتوليدين ← (البروكسداز) أورثوتوليدين مؤكسد + ماء.
(أزرق اللون)

ويتم قياس الجلوكوز في البول بهذه الطريقة تبعًا للخطوات التالية:

١- يحقن ١ سم$^3$ من محلول الإنزيم في ١٨٥سم$^3$ من عينة البول، وبشكل مماثل ١سم$^3$ من محلول الإنزيم في ١٠٠ سم$^3$ من محلول الجلوكوز القياسي (٣٠ ملجم/ ١٠٠ سم$^3$). ثم تحضن المحاليل عند درجة حرارة ٣٧°م لمدة ١٠ دقائق.

٢- يتم إيقاف التفاعل عن طريق إضافة ٤ سم$^3$ من محلول ٧,٢ عياري حمض الكبريتيك.

٣- يتم قراءة امتصاص الطيف الضوئي لكل من العينة والمحلول القياسي مقابل محلول الغفل عند طول الموجة ٥٤٠ نانوميتر.

٤- يحسب تركيز الجلوكوز تبعاً للمعادلة التالية:

$$\text{الجلوكوز (ملجم/١٠٠سم}^3\text{)} = \frac{\text{قراءة العينة} \times \text{تركيز المحلول القياسي}}{\text{قراءة المحلول القياسي}}$$

وقد تعطى نتائج إيجابية كاذبة مع هذا الفحص إذا تلوثت أدوات التحليل بفوق أكسيد الهيدروجين، أو الهيبوكلوريت. كما أن هنالك موادًا تعطي نتائج سالبة كاذبة، مثل حمض الأسكوربيك.

وتجدر الإشارة إلى أن ما يطرح في بول الإنسان من الجلوكوز لا يتعدى ٢٠٠ ملجم/يوميًا، وهذه غير محسوسة بكلتا الطريقتين سالفتي الذكر.

## الفركتوز

يعرف ظهور الفركتوز في البول بالتبول الفركتوزي Fructosuria. يظهر الفركتوز في البول في بعض الحالات الطبيعية، مثل تناول كميات كبيرة من الفواكه، إلا أنه يظهر في بعض الحالات المرضية، خاصة عند الأطفال، كتلك الحالات المرتبطة بنقص بعض الإنزيمات مثل فركتوكايناز Fructokinase، وإنزيم ألدولاز فركتوز - ١ - فوسفات Fructose -1- phosphate aldolase.

يظهر سكر الفركتوز في بول الأشخاص الذين يرتفع سكر الجلوكوز في بولهم بشكل كبير. كذلك يظهر الفركتوز في بول الأشخاص الذين يعانون من أمراض في الكبد، ومن اضطرابات في الجهاز العصبي المركزي. وهنالك مؤشرات على أن هنالك أسبابًا وراثية وراء حالة التبول الفركتوزي. وعلى كل الأحوال، فإن هذه الحالة ليست شائعة، ونادرة الحدوث.

يكشف عن التبول الفركتوزي بعدة طرق منها:

١ - فحص سلفوف Seliwanoff's test.

٢ - الكروماتوجرافيا الورقية.

## اللاكتوز

ظهور اللاكتوز بالبول حالة مرضية تعرف بالتبول اللاكتوزي Lactosuria. ويعود ذلك إلى نقص في بعض الإنزيمات المتعلقة في عمليات أيض اللاكتوز. يظهر اللاكتوز بحالة طبيعية في بول المرأة الحامل في الأيام الأخيرة التي تسبق الولادة، وكذلك أثناء الرضاعة. كما يظهر اللاكتوز بكمية قليلة في بول الأطفال الرضع، ولكنها تختفي بعد أن يكتمل نمو جهازهم الهضمي. كذلك يظهر اللاكتوز في البول

كحالة مرضية عند الأطفال والبالغين الذين يعانون نقص في إنزيم لاكتاز Lactase الأمعاء. وفي معظم الحالات الأخرى، فإن ظهور اللاكتوز في البول يُعد مؤشرًا على خلل فسيولوجي أكثر منه مرضي.

يكشف عن اللاكتوز في البول بعدة طرق، منها:

١- طريقة حمض المخاطيني Mucic acid.

٢- فحص الأوسازون Osazone.

٣- الكروماتوجرافيا الورقية.

## الجلاكتوز

يعرف ظهور الجلاكتوز بالبول بالتبول الجلاكتوزي Galactosuria. وأخطر الحالات التي يظهر بها سكر الجلاكتوز بالبول، هي Galactosemia، وهو مرض يصيب الرضع بسبب نقص الإنزيم الخاص الذي يحول الجلاكتوز إلى جلوكوز. وإذا لم يتم تشخيص الحالة مبكرًا، فإنها قد تؤدي إلى تخلف عقلي وصحي عند الأطفال المصابين بها، بل قد تؤدي إلى الوفاة بسبب تلف أنسجة الجهاز العصبي المركزي والكبد. ويتم علاج الأطفال الذين يعانون من هذه الحالة بإعطائهم وجبات غذائية لا **تحتوي** على لاكتوز أو جلاكتوز. وكما قد يظهر الجلاكتوز في بول الأشخاص الذين يعانون من أمراض الكبد. وأحيانًا يظهر الجلاكتوز وبكميات قليلة في بول الأطفال الذين يتناولون كميات كبيرة من الحليب وبشكل يومي، لكن لا تلبث أن تختفي بعد الإقلال من كمية الحليب، أو الانقطاع عن تناوله.

ومن الطرق المستخدمة للكشف عن ظاهرة التبول الجلاكتوزي ما يلي:

١- فحص المخاطيني.

٢- فحص الأوسازون.

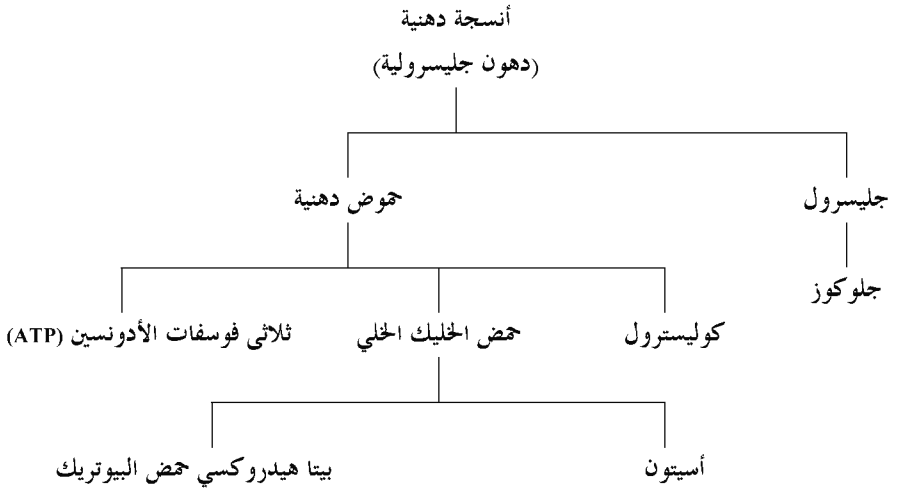
٣- الكرماتوجرافيا الورقية.

٤- طريقة أكسداز الجلاكتوز.

وتجدر الإشارة إلى أن بول الإنسان السوي لا يحتوي على سكاكر غير جلوكوزية بكمية محسوسة، ولكنها قد تظهر في البول في بعض الحالات المرضية، ويعرف وجود هذه السكاكر بالتبول Melituria.

## المواد الكيتونية

لا يحتوي بول الإنسان السوي على مواد كيتونية Ketone bodies، وتعرف حالة ظهور هذه المواد بالبول، بالتبول الكيتوني Ketonuria. وفي الوضع الطبيعي يقوم الجسم بحرق الدهون وتحويلها كاملاً إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. وعندما لا تتوفر المواد النشوية في الغذاء، أو يحدث خلل في أيض هذه المواد، أو امتصاصها عبر الأمعاء يلجأ الجسم عندها إلى أيض الحموض الدهنية لتوفير الجلوكوز، ويصاحب ذلك إنتاج مواد أخرى، هي المواد الكيتونية، وهي ثلاثة أنواع: الأسيتون، وبيتاهيدروكسي حمض البيوتريك B-hydroxy butric acid، وحمض الخليك الخلي Aceto acetic acid، وتكون نسبة هذه المواد في البول على التوالي ٢٪، ٧٨٪، ٢٠٪. وتتكون هذه المواد تبعًا للآلية التالية:



وفيما يلي بعض الحالات التي تظهر بها الأجسام الكيتونية في البول:

١- مرض السكري، حيث سببه الرئيس هو نقص الإنسولين الذي يعمل على تحويل الجلوكوز إلى طاقة. إن تراكم الجلوكوز بالدم، وعدم قدرة الجسم على الاستفادة منه بسبب نقص الإنسولين أو ضعف فعاليته ينتج عنه عدم دخول سكر الدم إلى الخلايا لتقوم بدورها بتحويله إلى طاقة تستثمرها لتقوم بوظائفها الحيوية مما يجعل الجسم يلجأ إلى أيض المواد الدهنية المخزنة، كمصدر بديل للحصول على الطاقة. وينتج عن استغلال الحموض الدهنية ارتفاع مستوى الأجسام الكيتونية بالدم، وتعرف هذه الحالة Ketosis. وبعد أن ترشح المواد الكيتونية من النفريدات، وتصل إلى البول تؤدي إلى حالة التبول الكيتوني التي تسبب مرض الحماض Acidosis بالبول، ويطلق على ذلك الحماض الكيتوني Ketoacidosis.

٢- الجوع، وانعدام السكاكر في الدم.

٣- حالات سوء التغذية، والقيء، والجفاف.

٤- بعد الإجهاد العنيف، كما قد تظهر الأجسام الكيتونية في البول أثناء الحمل.

يكشف عن المواد الكيتونية بالبول بواسطة فحص روثرا Rothera's test. حيث يتفاعل كل من الأسيتون وحمض الخليك الخلي مع نيتروبروسيد الصوديوم Sodium nitroprusside في الوسط القلوي فيتكون مركب معقد قرمزي اللون. وهو نفس مبدأ الكشف عن الأجسام الكيتونية بواسطة الأشرطة القرصية (الشكل رقم ٢٥).

وفيما يلي خطوات فحص روثرا العمل:

١- يضاف إلى أنبوب اختبار ٠,٥-١ جم من نيتروبروسيد الصوديوم، ثم يضاف ٥ سم$^{٣}$ من الماء المقطر (هذا يعني أن محلول نيتروبروسيد الصوديوم يجب أن يحضر قبل التحليل مباشرة).

٢- يضاف إلى أنبوب اختبار آخر ١٠ سم$^{٣}$ من عينة البول.

٣- يضاف إلى أنبوب الاختبار المحتوي على البول ٥,٠ سم$^{٣}$ (١٠ نقاط) من حمض الخليك الثلجي، ثم يضاف بعد ذلك ٥,٠ سم$^{٣}$ (١٠ نقاط) من الأنبوب الآخر المحتوي على محلول نبتروبروسيد الصوديوم المحضر حديثًا.

٤- يرج الأنبوب المحتوي على المزيج، ثم يضاف ١ سم$^{٣}$ (٢٠ نقطة) من محلول الأمونيا، نقطة وراء نقطة، بواسطة قطارة عن طريق الانسياب على سطح الأنبوب الداخلي ثم إلى المزيج.

٥- يلاحظ اللون، وتدون النتيجة كما يلي:

لم يتبدل اللون، النتيجة سلبية

حلقة وردية على سطح البول: +

حلقة حمراء: ++

حلقه بنفسجية قاتمة: +++

**الشكل رقم (٢٥). صورة فوتوغرافية تظهر نتيجة عن الأجسام الكيتونية بواسطة الأشرطة القرصية.**

وهنالك طرق خاصة بكل من العناصر الثلاثة المكونة للتبول الكيتوني. فمثلاً يستخدم فحص كلوريد الحديديك Ferric chlorid test للكشف على حمض الخليك الخلي، ويعرف أيضًا بفحص Gerhardt's test. وتلخص خطوات هذا الفحص تبعًا لما يلي :

١- توضع ٥ سم$^{٣}$ من البول في أنبوب اختبار.

٢- يضاف إليها محلول كلوريد الحديديك (١٠٪) نقطة نقطة، مع الرج المستمر حتى يختفي الراسب المتكون.

٣- يتكون لون أحمر غامق إذا احتوى البول على حمض الخليك الخلي.

وتجدر الإشارة إلى أن بعض المواد قد تعطي نتائج إيجابية كاذبة، مثل مركبات السلسلات Salicylates. وللتأكد من أن النتيجة كانت بسبب احتواء البول على حمض الخليك الخلي، فإنه يتم غلي البول لمدة ١٥ دقيقة، ويعاد الفحص، فإذا أعطى نتيجة سلبية دل على وجود حمض الخليك الخلي، حيث إنه يتحول بفعل الغليان إلى أسيتون، وهذا لا يعطي نتيجة إيجابية بهذا الفحص.

كما يستخدم فحص هارت Hart's test للكشف عن بيتا هيدروكسي حمض البيوتريك حيث يتم التخلص من الأسيتون وحمض الخليك الخلي بواسطة الغليان، ثم يكشف عن بيتًا حمض البيوتريك إذا وجدت تبعاً للخطوات التالية :

١- توضع ٢٠ سم$^{٣}$ من البول في دورق.

٢- يضاف إليها ٢٠ سم$^{٣}$ ماء مقطر، وعدة نقاط من حمض الخليك الثلجي.

٣- يُغلى المزيج حتى حجم ١٠ سم$^{٣}$. وبهذه الخطوة يتحول حمض الخليك الخلي للأسيتون، حيث يتطاير الأخير بفعل الغليان.

٤- يكمل الحجم بواسطة الماء المقطر حتى ٢٠ سم$^{٣}$.

٥- تقسم العينة إلى جزئين، حجم كل منهما ١٠سم$^{٣}$ حيث يضاف إلى أحدهما ١ سم$^{٣}$ من محلول فوق أكسيد الهيدروجين، ويسخن ثم يترك ليبرد.

٦- يفحص كل من الجزئين بطريقة روثرا، حيث تتكون حلقة حمراء في الجزء الذي أضيف إليه فوق أكسيد الهيدروجين كدلالة على وجود حمض الخليك الخلي.

## الدم والهيموجلوبين

يتكون الهيموجلوبين من أربع سلاسل ببتيدية (ألفا١، ألفا٢، بيتا١، بيتا٢)، حيث تحتوي سلسلة ألفا على ١٤١ حمضًا أمينيًا وسلسلة بيتا على ١٤٦ حمضًا أمينيًا. وترتبط كل سلسلة ببتيدية مع مجموعة هيم، بينما ترتبط السلاسل البتيدية الأربع بروابط الكتروستاتيكية تحصر بينها مركب ٢، ٣ ثنائي فوسفات الغليسرات. ويوجد الحديد في الجزء غير البروتيني من الهيموجلوبين (الهيم).

يعرف وجود الدم بالبول بالتبول الهيمي Hematuria. أما وجود الهيموجلوبين بالبول فيعرف بالتبول الهيموجلوبيني Hemoglobinuria. يكسب وجود الهيموجلوبين البول لوناً أحمر غير متعكر. إن وجود الدم في البول هو مؤشر على جرح، أو مرض في الكلية، أو المجرى البولي، بينما قد يكون ظهور الهيموجلوبين في البول مصدره خارج الجهاز البولي. ويظهر الدم، أو الهيموجلوبين، أو الاثنان معاً في البول في الحالات التالية:

١- في حالة فقر الدم التحللي Hemolytic anemia، وهذا يؤدي إلى التبول الهيموجلوبيني وليس التبول الهيمي، حيث يرتفع تركيز الهيموجلوبين في بلازما الدم بسبب تكسير كريات الدم الحمراء، وعندما يتجاوز تركيزه ١٠٠- ١٤٠ ملجم/١٠٠ سم$^{3}$ بلازما، فإنه يبدأ بالرشح مع البول.

٢- يظهر التبول الهيمي في بعض الأمراض المعدية، مثل الحمى الصفراء، والملاريا والجدري Small box، وبعض حالات التسمم بالحموض المركزة أو المشروم (الفقع).

٣- نزيف أو التهاب في الكلية، أو أحد أعضاء المجرى البولي، أو جرح لمخاطية أحد الحالبين بسبب الأطراف الحادة للحصوات الكلوية مثلاً.

٤- حالات التسمم من العناصر المعدنية، خاصة أملاح الرصاص، والبنزيدين، والأنلين.

٥- الأورام السرطانية في الكلية والمجرى البولي.

٦- عند تناول بعض الأدوية، مثل السلسلات Salicylates، والباربتيورات Barbiturates، ومضادات التخثر، وكذلك أدوية بعض حالات الحساسية، وهبوط مستوى البروثرمبين.

٧- الحالات المرضية التي يصاحبها تكسير لكريات الدم الحمراء، مثل الملاريا، ولدغ الثعابين، والتفوئيد، ونقص إنزيم نازع هيدروجين فوسفات الجلوكوز، والأمراض الفيروسية التي ينتج عنها تحطم كريات الدم الحمراء.

ويكشف عن كل من التبول الهيمي والهيموجلوبيني بعدة طرق أشهرها:

١- فحص البنزيدين Benzidine test.

٢- فحص الكواوك Guaiac test.

٣- فحص أرثوتوليدين Orthotolidine.

وتعتمد هذه الطرق على خاصية البيروكسداز الكاذبة Pseudo peroxidose - للهيموجلوبين.

**١- فحص البتزيدين**

يعرف البنزيدين أيضًا بثنائي الأمين وثنائي الفينل. لا يعمل هذا الفحص بشكل روتيني وذلك بسبب خطورة مادة البنزيدين، حيث إنها مادة شديدة التسرطن. ومبدأ ميكانيكية هذا الفحص أن الحمض يعمل تحلل الدم مظهرًا الهيموجلوبين الذي يقوم بتحليل فوق أكسد الهيدروجين مطلقا الأكسجين الذي بدوره يؤكسد البنزيدين. وفيما يلي خطوات العمل:

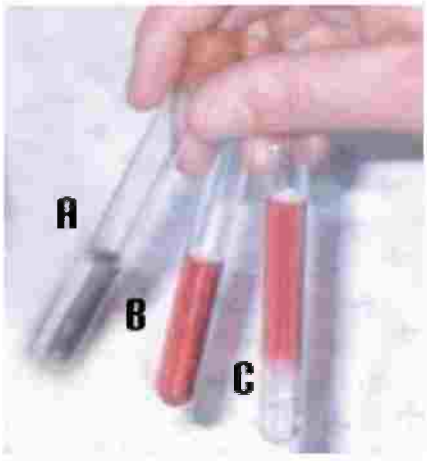
١- تضاف ٥ سم$^{٣}$ من البول إلى ٥ قطرات من محلول البنزيدين الكحولي (٥٪).

٢- يضاف إلى الخليط ٥ قطرات من حمض الخليك الثلجي ٣٠ ٪.

٣- يرج الأنبوب لمدة ٢-٤ دقائق، ثم يضاف إليه ٥ قطرات من محلول فوق أكسد الهيدروجين.

**النتيجة**

ظهور اللون البنفسيجي، وهو دلالة على وجود الدم أو الهيموجلوبين، ويتناسب ذلك طرديًا مع شدة اللون البنفسجي المتكون (الشكل رقم ٢٦).




**الشكل رقم (٢٦). صورة فوتوغرافية تظهر نتيجة عن الدم أو الهيموجلوبين بواسطة فحص البتزيدين.**

## ٢- فحص الكواوك

**كاشف كواوك** Guaiac reagent

كواوك (بودرة) (يعرف أيضًا بالصمغ السنغالي Senegal gum) ١جم

كحول إيثلي (٩٥٪) ١٠ سم$^{٣}$

تضاف بعد رج المحلول جيدًا ١٠ سم$^{٣}$ من محلول فوق أكسيد الهيدروجين (٣٠٪). وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن استخدام هذا الكاشف لمدة شهر من تاريخ تحضيره على أقصى حد، حيث لابد بعد هذا الوقت من إعادة تحضير هذا الكاشف من جديد.

**خطوات العمل**

١- توضع ٥ سم$^{٣}$ من البول في أنبوب اختبار.

٢- تضاف إليها عدة نقاط من حمض الخليك الثلجي.

٣- يخلط المزيج، ثم يمسك الأنبوب مائلاً حوالي ٣٠°، ويضاف ببطء قليل من كاشف كواوك.

٤- يتم ملاحظة لون الاتصال بين المحلولين.

وبخلاف البنزدين والآورثوتولدين، فإن الكواك غير مسرطن.

**النتيجة**

يدل تكون لون أخضر أو أزرق على وجود التبول الهيمي أو الهيموجلوبيني.

## الأصبغة الصفراء

يقصد هنا بالأصبغة الصفراء كل من البيلوروبين Bilirubin واليوروبلونجين Urobilinogen. إن وجود أي منهما في البول هو مؤشر على حالة مرضية في أنسجة الكبد أو خلل في إفرازات الصفراء.

**البيلوروبين**

يتكون البيلوروبين بالجسم بشكل طبيعي في الخلايا الشبكية البطانية Reticuloendothelial cells في الطحال ونخاع العظم بسبب تحطم الهيموجلوبين. يرتبط بعد ذلك البيلوروبين مع الألبومين في الدم، وينقل إلى الكبد. إن البيلوروبين بهذا الشكل غير قابل للذوبان بالماء، ويطلق عليه البيلوروبين غير المباشر Indirect bilirubin ولذلك لايظهر بالبول بهذا الشكل. تقوم خلايا الكبد بفصل البيلوروبين من الألبومين، وتربطه مع كل من حمض الجلوكورنيك وحمض الكبريتيك. ويعرف هذا الشكل الجديد البيلوروبين المباشر Direct bilirubin. تقوم خلايا الكبد التي كونت هذا الشكل من البيلوروبين بطرحه إلى العصارة الصفراء بالمرارة التي بدورها تفرزه من خلال المجري الصفراوي إلى الإثنى عشر حيث تقوم البكتيريا المعوية بتحويله إلى يوروبلونجين، حيث

يطرح ٧٥٪ منه مع البراز ويؤكسد إلى بيلوروبين، والباقي يعاد امتصاصه إلى الكبد، وجزء منه يتسرب إلى الدم، حيث يرشح في البول عند ارتفاع تركيزه في الدم.

وعندما يرتفع البيلوروبين في خلايا الكبد فإنه يرتفع أيضًا بالدم؛ لأن الشكل المرتبط منه يذوب بالماء، ويمكن أن يرشح مع البول. لا يزيد في البول الطبيعي ما يفرزه الجسم من بيلوروبين عن ٠,٠٢ ملجم/ ١٠٠ سم$^{٣}$ بول. وهذا تركيز منخفض، ولا يمكن الكشف عنه بالطرق الروتينية. وعندما يرتفع تركيزه بالدم يبدأ ظهور البيلوروبين بالبول، وتعرف هذه الحالة التبول البيلوروبيني Bilirubinuria، حيث يكون لون البول المحتوي على تركيز مرتفع من البيلوروبين أحمر غامقًا، وتتكون على سطحه رغوة تبقي فترة طويلة قبل أن تختفي إذا ما رج البول.

وفيما يلي الحالات التي يظهر بها البيلوروبين في البول:

١- انسداد القناة الصفراوية بسبب التهاب بالمجرى الصفراوي، أو وجود حصوات في المرارة، وهذا يمنع خروج العصارة الصفراء عبر المجرى الصفراوي إلى الأمعاء مما يؤدي إلى تسرب العصارة الصفراء إلى الدم، فيرتفع تركيزه، ويطرح جزء منه أثناء الترشيح عبر النفريدات، ويخرج مع البول.

٢- اليرقان الانسدادي Obstructive Jaundice الذي يؤدي إلى حصر البيلوروبين في الكبد.

٣- كثير من أمراض الكبد خاصة التهاب الكبد الوبائي Infective hepatitis، حيث يظهر البيلوروبين في المراحل الأولى من هذا المرض.

يكشف عن البيلوروبين بالبول بعدة طرق، أشهرها:

١- طريقة هرسون (فحص فوشيه).

٢- فحص الرغوة Foam test.

٣- طريقة حمض النيتريك، ويعرف هذا الفحص أيضًا بفحص جملن Gmelin's test.

٤- تفاعل الديازو Diazo reaction.

ومن الأهمية بمكان معرفة أن مركب البيلوروبين غير مستقر، ويختفي من البول بعد وقت ليس بالطويل خاصة إذا تعرض للضوء، حيث يعمل الضوء على فك الارتباط بين البيلوروبين وحمض الجلوكورنيك، ومن ثم يتكون بيلوروبين غير ذائب لا يمكن الكشف عنه إضافة إلى أن ترك العينة وقتًا طويلاً يعطي فرصة لأكسدة البيلوروبين إلى مركب آخر هو خضرة البيلوروبين Biliverdin. ولذلك، فإنه من الأهمية بمكان تحليل البول للكشف عن البيلوروبين في أسرع وقت حال خروج البول من الجسم.

**فحص هرسون Harrison test**

ويعرف أيضًا فحص فوشيه Fouchet's test

**المحاليل**

**كاشف فوشيه Fouchet's reagent**

يحضر من الآتي:

ماء مقطر ١٠٠ سم$^{٣}$

رابع كلور حمض الخليك (Tetrachloroacetic acid) ٢٥ جم

كلوريد الحديدك (١٠٪) (Ferric chloride) ١٠ سم$^{٣}$

**طريقة الفحص**

١- أضف إلى ٧ سم$^{٣}$ من البول كمية مساوية لهذا الحجم من كلوريد الباريوم (١٠٪). أخلط المزيج جيدًا، ثم رشحه بواسطة ورق ترشيح، فيبقى الراسب الذي يحتوي على الأصبغة الصفراوية على ورقة الترشيح.

٢- ينقط عدة نقاط من كاشف فوشيه على ورقة الترشيح التي تم استخدامه، ثم يراقب تكون لون.

**النتيجة**

ظهور لون أزرق أو أخضر يدل على نتيجة إيجابية. وإذا لم يتغير اللون دل على عدم وجود أصبغة صفراوية.

**فحص حمض النيتريك Nitirc acid test**

ومبدأ هذا الفحص أن حمض النيتريك المركز يقوم بأكسدة البيلوروبين إلى مشتقاته الملونة. ويعمل هذا الفحص تبعًا للخطوات التالية :

١ – ترج عينة البول جيدًا، ثم يتم ترشيح ٢٠ سم$^{٣}$ منها خلال ورقة ترشيح.

٢ – تترك ورقة الترشيح لتجف جزئيًا.

٣ – تضاف عدة نقاط من حمض النيتريك المركز على ورقة الترشيح.

٤ – يلاحظ اللون المتكون.

**النتيجة**

ظهور الألوان الأخضر، أو الأصفر، أو الأزرق دلالة على وجود البيلوروبين في عينة البول.

كما يمكن أن يعمل الفحص تبعًا للخطوات التالية :

١ – يوضع ٥ سم$^{٣}$ من حمض النيتريك المركز في أنبوب اختبار.

٢ – يضاف بحذر شديد ٥ سم$^{٣}$ من عينة البول حتى لا يختلط المحلولان.

٣ – يلاحظ لون الحلقة المتكونة عند نقطة الاتصال بين المحلولين.

**النتيجة**

ظهور الألوان الأخضر، الأزرق، البنفسجي، الأحمر دلالة على وجود البيلوروبين بالبول.

**فحص الرغوة Foam test**

ترج عينة البول بشدة عدة مرات، ثم يلاحظ تكون رغوة على سطح العينة. فإذا كان لون الرغوة المكتونة أصفر، وبقيت الرغوة فترة طويلة قبل أن تختفي (عدة دقائق على الأقل)، فإن ذلك قد يكون سببه احتواء البول على صبغية البيلوروبين. وتجدر الإشارة إلى أن نتيجة هذا الفحص لا يمكن اعتمادها، وإنما هي مؤشر على نتيجة إيجابية للبيلوروبين التي يجب تأكيدها بالفحوص سابقة الذكر، بينما يدل تكون رغوة بيضاء على وجود تركيز مرتفع من البروتين في عينة البول.

يكشف عن البيلوروبين بالبول أيضًا عن طريق تفاعل الديازو Diazo reaction حيث يتم تفاعل البيلوروبين إن وجد مع ثنائي دياز ومركب ثنائي كلور الأنلين Dichloraniline الذي يؤكسد البيلوروبين ويحوله إلى مركب خضرة البيلوروبين Biliverdin (أخضر اللون)، أو زرقة البيلوروبين Bilicyanin (أزرق اللون)، أو الكوليتين Choletelin (أصفر اللون).

## اليوروبيلونجين

تنشط البكتيريا المعوية على البيلوروبين وتحوله إلى مجموعة من المركبات تسمي اليوروبيلونجين Urobilinogen. ويقدر بأن حوالي ٥٠٪ من يوروبيلونجين الأمعاء يعاد امتصاصها إلى الكبد، وأن كمية قليلة تطرح في البول تتراوح ما بين ٠,٥ - ٣,٥ ملجم/٢٤ س. ويزداد تركيز اليوروبيلونيجن بالبول في الحالات التالية:

١- في جميع الحالات التي يزداد بها إنتاج البيلوروبين.

٢- في جميع الأمراض التي تحد من قدرة الكبد على إعادة امتصاص اليوروبيلونجين من الدم البوابي.

٣- في جميع حالات الانحلال الدموي، مثل فقر الدم التحللي pernicious anemia، والملاريا. بسبب انعدام امتصاص فيتامين ب ١٢ الضروري لتصنيع خلايا الدم الحمراء، وفقر الدم.

٤- التهاب الأوعية الصفراوية Cholangitis.

٥- الملاريا.

٦- تسمم الكبد.

٧- التهاب الكبد الوبائي.

٨- تليف الكبد.

٩- داء وحيدات النواة الخمجي Infectious Mononucleosis، وتعرف أيضًا الحمي الغدية Glandular fever؛ لأنها تصيب العقد اللمفاوية، والطحال، والغدد

اللعابية، وهي على الأغلب عدوى فيروسية، ويصحبها تضخم بالطحال، والغدد اللمفاوية، وارتفاع في عدد الخلايا اللمفاوية غير الطبيعية.

وينخفض أو ينعدم اليوروبيلونجين في البول بالحالات التالية:

١- عندما يقل إفراز الصفراء في الأمعاء.

٢- انسداد المجرى الصفراوي بسبب الحصوات Cholelithiasis، أو الالتهاب، أو الأورام السرطانية.

٣- أثناء تعاطي المضادات الحيوية التي تحد من نشاط البكتيريا المعوية التي تحول البيلوروبين إلى يوروبيلونجين.

هنالك عدة طرق للكشف عن اليوروبيلونجن بالبول أشهرها:

١- تفاعل إرليخ Ehrlich reaction.

٢- فحص شلزنجز Schlessinger test.

**تفاعل إرليخ**

يعتمد هذا التفاعل على اتحاد اليوروبيلونجن في الوسط الحمضي مع بارا ثنائي إثيل أمين البنزلدهيد P-diethylaminobenzaldehyde، فيكون مركب له لون وردي محمر.

**خطوات العمل**

١- توضع في الأنبوب ١٠ سم$^{٣}$ من البول الطازج.

٢- يضاف ١ سم$^{٣}$ من كاشف إرليخ المحضر من الآتي:

أ) بارا ثنائي إثيل أمين البنزلدهيد ١٠ جم

ب) حمض كبريتيك مركز ٧٥ سم$^{٣}$

ج) ماء مقطر ٧٥ سم$^{٣}$

٣- يترك المزيج لمدة خمس دقائق، ثم يلاحظ اللون المتكون من خلال وضع الأنبوب على خلفية سطح أبيض.

**النتيجة**

لون وردي خفيف : التركيز بمقدار طبيعي

لون أحمر قاني : ++

وتجدر الإشارة إلى أنه يجب أن تكون عينة البول طازجة، حيث إنه لو ترك البول مدة من الزمن، فإن اليوروبيلونجين يتحول إلى يوروبيلين، وهذا الأخير لا يتفاعل مع كاشف إرليخ. كذلك تجدر الإشارة إلى أن وجود الفورمالين في عينة البول يعطي نتائج سلبية كاذبة، كما أن وجود مواد أخرى، مثل الأصباغ الأزوية، والرايبوفلافن قد تعطل اللون الوردي.

**فحص شلزنجر**

يستخدم في هذا الفحص محلول لوغول في الوسط الحمضي للكشف عن اليوروبيلونجين.

**طريقة العمل**

١- تسكب في أنبوب اختبار ١٠ سم$^{٣}$ من البول.

٢- تضاف إلى الأنبوب ١٠ سم$^{٣}$ من محلول خلات الخارصين الكحولي (١٠٪).

٣- تخلط المحتويات ثم ترشح.

٤- يقسم الجزء المرشح إلى قسمين متساويين، يوضع كل منهما في أنبوب اختبار.

٥- تضاف إلى الأنبوب الأول قطرتان من محلول يود لوغول Lugol's iodine، بينما يضاف إلى الأنبوب الثاني نقطة من حمض الهيدروكلوريك المركز.

٦- يخض الأنبوب ثم يلاحظ اللون الذي يظهر مباشرة.

**النتيجة**

لون أخضر شاحب : +

أخضر شديد : ++

وتجدر الإشارة إلى أن تحليل كل من البيلوربين واليوروبيلونجين في البول يساعد على تشخيص المرض وتأكيده، كما يوضح الجدول رقم (٧).

**الجدول رقم (٧). العلاقة بين صبغيات الصفراء بالبول، وبعض الأمراض.**

| | الوضع الطبيعي | أمراض تحلل الدم | أمراض الكبد | الانسداد الصفراوي |
|---|---|---|---|---|
| اليوروبيلونجين | طبيعي | ↑ | ↑ | ↓ أو − |
| بيلوروبين | − | − | + ، − | + |

## فنيل حمض البايروفيك

يظهر فنيل حمض البايروفيك Phenyl pyruvic acid في بول الأطفال الرضع في حالة مرضية، تعرف بالتبول الفنيل كيتوني Phenyl ketonunuria، وسبب ذلك هو الأيض غير الطبيعي للحمض الأميني فنيل الألينن Phenyl alanine الذي يتحول بسبب الأيض الخاطئ إلى فنيل حمض البايروفيك بسبب نقص إنزيم هيدركسلازفنيل الألنين Phenyl alanine hydroxylase الذي يحول فنيل الألنين إلى تايروسين، وهذا ينتج عنه تخلفًا عقليًا عند الطفل، وهو حالة وراثية. وتظهر هذه الحالة عند الطفل مابين الأسبوع الثاني والسادس من بعد الولادة، وتشخص عن طريق البحث عن فنيل حمض البايروفيك في البول والمصل (Serum)؛ لذا يجب فحص بول الأطفال الرضع لمدة ستة أشهر وبشكل أسبوعي للكشف عن فنيل حمض البايروفيك في البول؛ حيث إن إغفال ذلك قد ينتج عنه إعاقة نمو الدماغ، ومن ثم التخلف العقلي. ويتم معالجة الطفل الرضيع مبكرًا باستخدام غذاء لا يحتوي على الحمض الأميني فنيل الألنين، أو بتركيز قليل منه. ينتقل هذا المرض الذي عرف لأول مرة عام ١٩٤٣م، وراثيًا كصفة جسمية متنحية من كل من الأب والأم الحاملين للمرض إلى الأبناء، وتكون فرصة حدوث الإصابة بينهم بنسبة ١ : ٤. وتبلغ نسبة الإصابة حوالي حالة واحدة بين كل

٢٠ ألف من أفراد المجتمع. وعلى الرغم من ندرته إلا أن خطورته تكمن في مضاعفاته الخطيرة، حيث إنه إذا لم يتم الكشف عنه خلال الشهور الأولى من عمر الطفل، فإنه يؤدي إلى مضاعفات دائمة، أهمها الإعاقة العقلية. وتشير الدراسات إلى أن ٠,٦٤٪ من نزلاء المصحات العقلية هم ممن يعانون من هذا المرض، وأن نسبة حاملي المرض حوالي ١٪ من السكان.

يمكن الكشف عن فنيل حمض البايروفيك عن طريق فحص ميولمانس Meulemans test الذي يعرف أيضًا بفحص كلوريد الحديديك من خلال تفاعل فينل حمض البايروفيك إذا وجد بالوسط الحمضي مع كلوريد الحديديك، فيكون راسب أخضر مزرق تبعًا للخطوات التالية:

١- ضع ٥ سم$^{٣}$ من البول الطازج في أنبوب، ثم أضف نقطتين من حمض الكبريتيك (٢,٨٪).

٢- أضف ٥ نقاط من محلول كلوريد الحديديك (٥٪) ثم إخلط محتوى الأنبوب.

٣- إذا تكون لون أخضر مزرق دل ذلك على نتيجة إيجابية.

وقد تعطي مواد أخرى نتائج إيجابية خاطئة، مثل حمض الخليك الخلي، والتايروسين. كذلك هنالك حالات مرضية تعطي نتائج إيجابية كاذبة مع فحص كلوريد الحديديك، مثل مرض شراب القبقب Maple syrup Urine disease، وهو مرض وراثي ناتج عن نقص إنزيم نازع كربوكسيل حمض الكيتون Keto acid decarboxylase، وهو يظهر بشكل أساسي عند الأطفال؛ حيث يكتسب بولهم رائحة شراب القبقب، وإذا لم يعالج منها الطفل فقد يؤدي إلى نوبات تشنج، وتخلف عقلي، وربما الوفاة. وفي حالة التبول الكابتوني Alkaptonuria، حيث يظهر في البول الكابتون أحد منتجات الأيض الخاطئ للتايروسين. وكما تسبب أيونات الفوسفات - إن وجدت في البول - نتائج إيجابية سالبة لهذا الفحص.

وإذا كانت عينة البول تحتوي على تركيز مرتفع من الفوسفات، فإنه لابد من ترسيب الفوسفات قبل القيام بفحص ميولمانس. ويتم ترسيب الفوسفات على هيئة فوسفات أمونيوم المغنيسيوم $MgNH_4PO_4$، ويتم ذلك تبعًا للخطوات التالية:

١- يضاف ١سم$^3$ من كاشف المغنيسيوم إلى ٤ سم$^3$ من عينة البول.

٢- يخلط المزيج، ثم يترك جانبا لمدة ٥ دقائق.

٣- يتم ترشيح الخليط، ثم تضاف إلى الجزء المرشح نقطتان من حمض الهيدروكلوريك (١٠٪) ونقطتان من كلوريد الحديديك (١٠٪).

٤- يلاحظ اللون مباشرة، حيث إن ظهور لون أخضر أو أخضر مزرق لا يلبث أن يتحول إلى أصفر دلالة على وجود فنيل حمض البايروفيك.

هذا، ويحضر كاشف المغنيسيوم من خلال إضافة ١١ جم كلوريد المغنيسيوم مع ١٤ جم كلوريد الأمونيوم في ٢٠ سم$^3$ هيدروكسيل الأمونيوم المركز، ثم يكمل الحجم حتى ليتر. إضافة إلى فحص كلوريد الحديديك، فإنه يمكن الكشف عن فنيل حمض البايروفيك بطرق أخرى، منها فحص غاثري Guthrie test، وكذلك بواسطة الكروماتوجرافيا.

وتجدر الإشارة إلى أن طفلاً من كل عشرين ألف طفل يولد يعاني من حالة التبول الفينيل الكيتوني، وأنه إذا لم يتم تشخيص الحالة والعلاج، فإن تأثيرات فنيل حمض البايروفيك على الجهاز العصبي المركزي غير مسترجعة وتسبب التخلف العقلي.

## النيتريت

لا يحتوي البول الطبيعي على نيتريت Nitrite، ولكنه يتكون في بعض الحالات المرضية وبخاصة عند نمو البكتيريا السالبة لصبغة جرام التي تعمل على تحويل النيترات

Nitrate (يحصل عليها الجسم من الغذاء، وترشح في النفريدات) إلى نيتريت. وبالتالي، فإن ظهور النيتريت في البول دلالة على وجود التهاب جرثومي في المجرى البولي، بينما عدم ظهورها لايعني عدم وجود بكتيريا في عينة البول. ويعتقد بأنه عندما يمكن الكشف عن النيتريت بعينة البول، فإن عدد البكتيريا يكون قد وصل إلى أكثر من ١٠٠ ألف بكتيريا/سم$^{٣}$ من البول، وتشمل أنواع البكتيريا التي تقوم بتحويل النيترات إلى نيتريت ما يلي:

١- الإشريكية القولونية *E. coli*.

٢- كلبسلا *Kelbsiella pneumonia*.

٣- إنتيروباكتر أريجنوزنا *Enterobacter aeroginosa*.

٤- أنواع بروتيس *Proteus*.

٥- بعض سلسلات الجرثومة الزائفة *seudomonas*.

٦- السالمونيلا *Salmonella*.

٧- الشيجلا *Shigella*.

٨- ستروباكتر *Citrobacter*.

٩- معظم أنواع البكتيريا العنقودية *Staphylococcus*.

١٠- إنتيروكوكس *Enterococcus*.

إلا أن جراثيم السل Tuberculosis، والسيلان Gonorrhea وكذلك بكتيريا العقدية (السبحية) البرازية *Streptococcus faecalis* لا تقوم بتحويل النيترات إلى نيتريت. ويمكن الكشف عن النيتريت بالبول من خلال تفاعلها بالوسط الحمضي مع P-arsanilic acid لتكون مركبا ثنائي الدستزة الذي يتحد بدوره مع مركب 1, 2, 3, 4 tertahydrobenzoquinolin-3-01 لتكون لونًا ورديًّا.

## الكالسيوم

لا يزيد معدل تركيز الكالسيوم في البول في الظروف الطبيعية عن ٢٥٠ملجم/٢٤ س (٥,٧ مول/١٠٠ سم$^{٣}$) إلا أن تركيزه يزداد في حالات تضخم الغدة الدرقية Hyperthyroidism ، والغدة جار درقية Parathyriod ، وأمراض العظام. كما ينخفض تركيزه بشكل كبير في حالات ضمور الغدة الدرقية.

من أفضل الطرق للكشف عن الكالسيوم طريقة سولكوتش Sulkowitch method التي يتم من خلالها تحويل الكالسيوم بوجود أكزلات الأمونيوم إلى أكزلات الكالسيوم مكوناً على هيئة راسب أبيض، ويستخدم هذا الفحص للكشف عن الكالسيوم في بول الأشخاص الذين يعانون من تكوين حصوات بولية، وفي بول المرضى الذين يشك في اضطراب في الغدة جاردرقية عندهم. كذلك تجدر الإشارة إلى أن محتوى البول من الكاالسيوم يختلف من وقت لآخر في النهار الواحد، حيث يكون أعلى تركيز بعد تناول الغذاء وأقله بالليل، ومن ثم فإن العينة الصباحية بعد النهوض من النوم تحتوي على كالسيوم أقل من بول الأوقات الأخرى.

**المحاليل**

**كاشف سلكوتش** Sulkowitch reagent (الشكل رقم ٢٧)

يحضر هذا الكاشف كما يلي :

أ) أوكزلات الأمونيوم ٥,٢ جم

ب) حمض الأوكزليك ٥,٢ جم

ج) ماء مقطر ١٤٥ سم$^{٣}$

د) حمض الخليك الثلجي ٥ سم$^{٣}$

**طريقة الكشف**

١- ضع ٥ سم$^{٣}$ من البول في أنبوب اختبار، ثم أضف إليها ٢ سم$^{٣}$ من كاشف سلكوتش نقطة تلو الأخرى.

٢- اخلط المحتويات جيدًا، ثم اترك الأنبوب جانبًا لمدة ثلاث دقائق.

٣- يلاحظ تكون عكارة، ثم تدون النتائج كما يلي:

أ) عكارة بيضاء ← تركيز طبيعي للكالسيوم (٩-١١ ملجم/١٠٠سم٣).

ب) لم تتكون عكارة ← تركيز منخفض من الكالسيوم (أقل من ملجم/١٠٠سم٣).

ج) عكارة شديدة ← تركيز مرتفع من الكالسيوم (يزيد عن ١٢,٥ ملجم/١٠٠سم٣).

**الشكل رقم (٢٧). صورة فوتوغرافية لكاشف سلكوتش المتوفر تجاريًا.**

ويرتفع تركيز الكالسيوم في البول في الحالات التالية:

١- نشاط الغدة الدرقية المفرط.

٢- مرض باجت Paget's disease.

٣- مرض Sarcoidosis الذي تشبه أعراضه مرض السل.

٤- التبول الكلسي الغامض Idiopathic hypercalcuria.

٥- مرض حماض الكلى.
٦- مرض النفيوم المتعدد.
٧- الحالات المرضية والفسيولوجية التي يرتفع بها كالسيوم الدم.
وكما ينخفض تركيز الكالسيوم بالبول في الحالات التالية :
١- الالتهاب الكلوي الحاد.
٢- تعاطي بعض الأدوية التي تحد من امتصاص الكالسيوم من الأمعاء.
٣- الحالات المرضية والفسيولوجية التي يقل بها تركيز الكالسيوم بالدم.
٤- ضمور الغدة الدرقية.

## البورفيرينات

البورفيرينات Porphyrins عبارة عن صبغيات تنتج عندما يحدث مايعطل تصنيع الهيم، مما يؤدي إلى تراكم المركبات التي تصنع الهيم، والتي تكونت من سلسلة من التفاعلات بدأت بالجلايسين و Succinyl CoA، وتشتمل صبغيات البورفيرينات التي تطرح بالبول على ما يلي :

١- كوبروبورفيرينات Coproporphyrins، ويطرح منها في البول ٧٠-٢٥٠ ميكروجرام/٢٤ س.

٢- يوروبورفيرينات Uroporphyrins ويطرح إلى البول ١٠ - ٣٠ ميكروجرام/٢٤ س.

٣- بورفوبيلونجين Prophobilinogen ويطرح إلى البول ما لا يزيد عن ٢ ملجم/٢٤ س.

٤- حمض دلتا أمينوليفيولينيك Delta-amino levulinic acid.

ويطرح إلى البول حوالي ١-٧ ملجم/٢٤ س. ويدعى ظهور البورفيرينات بالبول بالتبول البورفيريني Porphyrinuria. والتبول البورفيريني يعود في كثير من الأحيان لأسباب وراثية.

وتظهر البورفينات بالبول بتراكيز مرتفعة بالحالات التالية :

١ – نوبة البورفيرية الحادة Acute intermittant Porphyria ، حيث يزيد تركيز كل من بورفوربيلونجين ودلتا أمينوليفيولينيك.

٢ – البورفيرية الجلدية Porphyria cutanea tarda ، حيث يرتفع تركيز من كوبروبورفيرينات في البول.

٣ – بورفيرية الخلايا الحمراء الخلقية Congenital erythropoietic porphyria.

٤ – أمراض الكبد الانسدادية ، مثل التليف ، والالتهاب الوبائي ، واليرقان الانسدادي ، والتشمع الكبدي.

٥ – التسمم بالرصاص ، حيث يصل تركيز كوبروبورفيرينات إلى حوالي ١٠ ملجم/٢٤ س ، وهذا يعادل حوالي ٤٠ ضعف التركيز الطبيعي ؛ وذلك لأن الرصاص يعمل على تثبيط الإنزيم اللازم لتحويل دلتا أمينوليفيولينيك إلى بورفوبيولونجين.

٦ – بعض الأمراض الخلقية.

يكشف عن البورفوبيلونجين بالبول بواسطة فحص واطسون – شوارتز Watson-Schwartz test تبعًا للخطوات التالية :

١ – توضع ٥ سم$^{٣}$ من بول طازج في أنبوب اختبار.

٢ – تضاف إليها ٥ سم$^{٣}$ من محلول أرليخ التالي :

أ) بارا ثنائي مثيل أمينوبنزلدهيد ٣,٥ جم

ب) حمض هيدروكلوريك مركز ٧٥٠ سم$^{٣}$

ج) ماء مقطر ٥٠٠ سم$^{٣}$

٣ – يضاف ١٠ سم$^{٣}$ من خلات الصوديوم Sodium acetate المشبعة (١٠٠ جم/١٠٠سم$^{٣}$ ماء عند حرارة ٦٠°م). ثم تخلط محتويات الأنبوب جيدًا.

٤- إذا ظهر لون وردي فهذا يعني وجود البورفوبيلونجين، أو اليوروبلونجين، أو الاثنين معًا، ولتحديد أيهما، يضاف ١٠ سم$^{3}$ كلوروفورم، وترج المحتويات، ثم يعمل طرد مركزي لفصل الطبقتين.

٥- تفصل الطبقتان، حيث الكلوروفوم يأخذ معه اليوروبلونجين، بينما يبقى البورفوبيلونجين بالطبقة العليا إذا وجد، ويكسبها اللون الأحمر القاني، أو القرمزي.

كذلك يكشف عن وجود الكوبروبورفيرينات في حالة التسمم بالرصاص تبعًا للخطوات التالية:

١- توضع ٥ سم$^{3}$ من البول في أنبوب اختبار.

٢- يضاف ١ سم$^{3}$ من حمض الخليلك الثلجي.

٣- تضاف ٥ سم$^{3}$ من إثيل الأثير.

٤- يضاف ثلاث نقاط من محلول فوق أكسيد الهيدروجين (٣٪) حديث التحضير.

٥- يغلف الأنبوب وتخلط المحتويات بالرج عدة مرات.

٦- يترك الخليط جانبًا لمدة ١٥ دقيقة حتى يتم الفصل بين الطبقتين.

٧- يفحص الأنبوب في غرفة مظلمة بواسطة الأشعة فوق البنفسجية؛ وذلك لملاحظة اللون المتكون في الطبقة العليا، وهى طبقة الأثير.

**النتيجة**

لون أزرق باهت: تركيز طبيعي

لون بنفسجي: +

لون زهري: ++

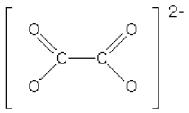
لون وردي باهت: +++

لون وردي غامق: ++++

وتجدر الإشارة إلى أنه يجب حفظ عينة البول المراد فحص البورفيرينات بها في مكان معتم؛ حيث إنها تتأثر بالضوء، وتفقد حتى ٦٠٪ من البورفيرينات إذا تعرضت للضوء لمدة ٢٤ ساعة.

## الأوكزلات

وتعرف الحالة التي يرتفع بها تركيز الأوكزلات بالبول بالتبول الأوكزالي Oxaluria. يتراوح تركيز الأوكزلات Oxalates في بول الإنسان السوي ما بين ١٥ – ٢٠ ملجم/بول ٢٤ س، وكذلك يرتفع هذا التركيز بعد تناول أطعمة معينة مثل السبانخ والبندورة مثلاً.



(التركيب الكيميائي للأوكزلات)

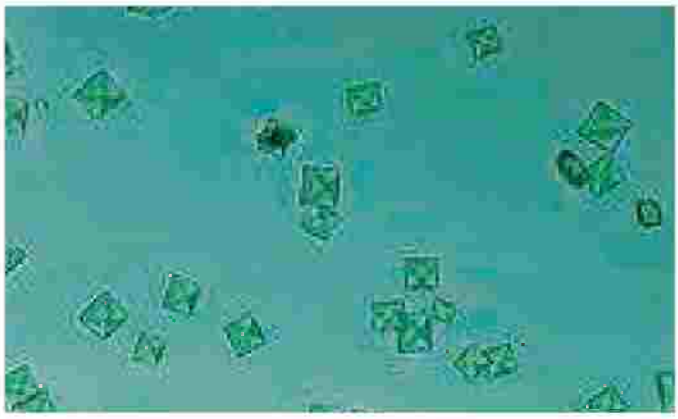
ويزداد تركيز الأوكزلات في البول في الحالات المرضية التالية:

١ – مرض التكلس الكلوي Nephrocalcinosis.

٢ – عند توفر القابلية لتكوين الحصوات البولية.

٣ – حالة الإفراط للأوكزلات بالدم والبول (الشكل رقم ٢٨).

٤ – نقص فيتامين ب٦.



**الشكل رقم (٢٨). صورة فوتوغرافية تظهر أحد أشكال الأوكزلات بالبول.**

ولا يقاس تركيز الأوكزلات بالبول روتينيًا، وتعتبر جروماتوجرافيا التبادل الأيوني Anion exchange chromatography من أفضل الطرق لذلك. وقبل التحليل يتم فصل المواد المكبرتة من العينة باستخدام كلوريد الباريوم من أجل الحصول على نتائج دقيقة، إضافة إلى عمل معايرة للجهاز، وعمل التحاليل بشكل موازٍ لمحاليل أوكزلات عيارية.

## الأملاز

يتم تصنيع إنزيم الأملاز Amylase من قبل الغدد اللعابية، وكذلك من قبل غدة البنكرياس. يصل معدل تركيز هذا الإنزيم في بول الإنسان السوى حوالي ٣٠٠٠ وحدة دولية/ل. وعندما يرتفع تركيز الأملاز في البول، فإنه يرتفع أيضًا في الدم، باستثناء حالات قليلة مثل Macromylasemia، حيث يرتفع مستواه في الدم، ويبقى تركيزه طبيعيًا في البول. ويرتفع تركيز إنزيم الأملاز بالبول في الحالات التالية:

١- التهاب البنكرياس الحاد.

٢- الانسداد البنكرياسي.

٣- النكاف Mumps وهو التهاب الغدة النكافية Parotitis.

٤- في حالة مرض الحماض الناتج عن مرض السكر.

ويفيد قياس الأملاز بالبول في حالة حدوث النوبة الحادة؛ حيث يكون الأملاز مرتفعًا بالبول، ولمدة أسبوع من بعد حدوث النوبة.

ومن الطرق المستخدمة للكشف عن الأملاز في البول طريقة تكوين السكاكر Saccharogenic method، حيث يتم حضن البول مع نشا معاير منظم عند ٣٧°م ثم بعد ذلك تقاس كمية السكاكر المختزلة التي تكونت بسبب نشاط الأملاز. وفيما يلي خطوات العمل:

١- يستخدم أنبوبان، أحدهما للعينة، والآخر للمحلول الضابط Control Solution، حيث يوضع في كل منهما ٧ سم$^{٣}$ من محلول النشا المنظم، ثم يحضنان عند درجة حرارة ٣٧°م في حمام مائي.

٢- يضاف بعد مرور خمس دقائق إلى أنبوب العينة ٠,٥ سم$^{٣}$ من عينة البول و٠,٥ سم$^{٣}$ من محلول كلوريد الصوديوم (٠,٩٪).

٣- بعد مرور ٣٤ دقيقة بالضبط ترفع الأنابيب من الحمام المائي، ويضاف مباشرة إلى كل منها ١,٥ سم$^{٣}$ من ٢/٣ عياري حمض الكبريتيك.

٤- تخلط محتويات كل أنبوب جيدًا، ثم يضاف إلى أنبوب المحلول الضابط ٠,٥ سم$^{٣}$ بول و٠,٥ سم$^{٣}$ محلول كلوريد الصوديوم (٠,٩٪).

٥- يضاف إلى كل أنبوب ٥,٠ سم$^{٣}$ من محلول تنغستات الصوديوم (١٠٪).

٦- يحضر المحلول القياسي من الآتي:

أ) محلول نشا منظم ٧ سم$^{٣}$

ب) ٢/٣ عياري حمض الكبريتيك ٥,١ سم$^{٣}$

ج) تنغستات الصوديوم (١٠٪) ٥,٠ سم$^{٣}$

د) محلول جلوكوز (١ ملجم/١سم$^{٣}$) ١ سم$^{٣}$

٧- يعمل طرد مركزي للأنابيب الثلاثة، ثم ترشح خلال ورقة ترشيح رقم ٤٠، وإذا لم يكن الراشح رائقًا، فإنه يعاد ترشيحه حتى يتم الحصول على محاليل رائقة.

٨- يتم حساب تركيز السكاكر المختزلة بطريقة فولين - واطسون من خلال تحضير الأنابيب الأربعة الآتية:

**أ) أنبوب الغفل:** ٢ سم$^{٣}$ ماء مقطر + ٢ سم$^{٣}$ محلول طرطرات النحاس القاعدي.

**ب) أنبوب العينة:** ١ سم$^{٣}$ ماء مقطر + ١سم$^{٣}$ من محلول العينة + ٢ سم$^{٣}$ محلول طرطرات النحاس القاعدي.

**ج) أنبوب المحلول الضابط:** ١سم$^{٣}$ ماء مقطر + ١ سم$^{٣}$ من محلول الضابط + ٢ سم$^{٣}$ محلول طرطرات النحاس القاعدي.

**د) أنبوب المحلول القياسي:** ١ سم$^{٣}$ ماء مقطر + ١ سم$^{٣}$ من المحلول القياسي + ٢ سم$^{٣}$ محلول طرطرات النحاس القاعدي.

٩- توضع الأنابيب الأربعة في حمام ماء يغلي لمدة ١٥ دقيقة.

١٠- ترفع الأنابيب من الحمام المائي، ثم يضاف مباشرة إلى كل منها ٤ سم$^{٣}$ من كاشف الموليبدات الحمضي Acid molybdate reagent.

١١- يكمل محتوى كل أنبوب إلى حجم ٢٥ سم$^{٣}$ ثم تخلط المحتويات في كل أنبوب بشكل جيد.

١٢- يقاس امتصاص الطيف الضوئي لكل أنبوب عند طول الموجة ٥٤٠ نانوم بعد تصفير الجهاز بواسطة محلول الغفل.

١٣- يحسب تركيز الجلوكوز من المعادلة التالية:

$$\text{جلوكوز العينة (ملجم/١٠٠سم}^{٣}) = \frac{\text{قراءة محلول العينة} \times ١٠٠}{\text{قراءة المحلول القياسي}}$$

$$\text{جلوكوز المحلول الضابط (ملجم/١٠٠سم}^{٣}) = \frac{\text{قراءة المحلول الضابط} \times ١٠٠}{\text{قراءة المحلول القياسي}}$$

١٤- يحسب تركيز الأملاز تبعًا للمعادلة التالية:

الأملاز (وحدة/ملجم) = جلوكوز العينة - جلوكوز المحلول الضابط.

هذا، ويحضر محلول طرطرات النحاس القاعدي كما يلي:

يذاب في ٨٠٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر ما يلي:

أ) كربونات الصوديوم غير المائية ١٦ جم

ب) طرطرات الصوديوم ١٢ جم

ج) كبريتات النحاس ٥ جم

بعد إذابة هذه المكونات يكمل الحجم إلى لتر، ويتم حفظها في قارورة داكنة، ولا يستعمل المحلول قبل مرور أسبوع على تحضيره.

ويحضر كاشف المولیبدات الحمضي كما يلي :

يوضع ٣٠٠ جم من مولیبدات الصوديوم في دورق سعته ٢ ل. يضاف ٩٠٠ سم$^3$ ماء مقطر، وترج المحتويات حتى الذوبان تقريبًا. تضاف ٤٥٠ سم$^3$ من حمض الفوسفوريك (٨٥٪) تبرد المحتويات بواسطة حمام ثلجي، ثم تضاف ٣٠٠ سم$^3$ من حمض الكبريتيك (٢٥٪) البارد. بعد أن يبرد المحلول بالكامل يضاف ١٥٠ سم$^3$ من حمض الخليك الثلجي، ثم يكمل الحجم بالماء المقطر حتى لترين. يحفظ المحلول في وعاء داكن اللون.

## اليوريا

تظهر اليوريا Urea بالبول بسبب التحول الأيضي للحموض الأمينية أثناء تفاعلات الهدم في الكبد. يتراوح معدل ما يطرحه الجسم من اليوريا يوميًّا ما بين ١٢ - ٢٥ جم/بول ٢٤ س، وقد ترتفع عن ذلك بسبب تناول الأغذية المحتوية على نسبة كبيرة من البروتينات كما أنها تقل في بول الأشخاص النباتيين. ويرتفع تركيز اليوريا في البول في الحالات الآتية :

١ - السرطان المنتشر.

٢ - إبيضاض الدم.

٣ - مرض كوشنغ.

٤ - زيادة في نشاط الغدة الدرقية.

٥ - نزيف في المجري البولي.

كما ينخفض مستوى اليوريا في البول في الأمراض الكبدية المزمنة، وكذلك أمراض الكلية التي تؤثر على النبيبات البولية.

لا يمكن الاعتماد على قياس تركيز اليوريا في البول لتشخيص حالة الكبب الكلوية حيث إن كثيرًا من العوامل الأخرى تؤثر على تركيز اليوريا بالبول. ولكن

يستخدم قياس اليوريا لاستكشاف حالة النبيبات البولية، وعندما يصل تركيز اليوريا ٠,٥/١٠٠ سم$^3$ بول بينما يصل في الدم أعلى من ١٠٠ ملجم/١٠٠ سم$^3$ دم يدل ذلك على خلل في عمل النبيبات البولية.

ومن الطرق المشهورة لقياس اليوريا بالبول طريقة هيبوكلوريت القاعدية Alkaline hypochlorite method. يتم قياس تركيز اليوريا بواسطة معايرتها مع هيبوبروميد الصوديوم بعد التخلص من المواد الأمينية وحمض اليوريك بواسطة خلات الرصاص، حيث يقوم إنزيم اليوراز Urease بتحليل اليوريا إلى كربونات الأمونيوم وأمونيا التي تتفاعل بدورها مع الهيبوكلوريت والفينول مكونة مركبا أزرق هو الإندوفينول، وتتناسب شدة اللون الأزرق المتكون طرديا مع تركيز الأمونيا في البول.

**خطوات العمل**

١- يوضع ٠,٥ جم من Permutit في دورق سعته ٢٥ سم$^3$. يغسل المحتوى بالماء المقطر مرتين ثم يطرح الماء.

٢- يضاف ١ سم$^3$ من عينة البول و٥ سم$^3$ من الماء، وترج المحتويات لمدة ٥ دقائق.

٣- يكمل الحجم بواسطة الماء المقطر حتى حجم ٢٥ سم$^3$ (وبذلك تم تخفيف البول ٢٥ مرة).

٤- تحضر ثلاثة أنابيب اختبار، ويضاف إليها المحتويات كما يلي:

**أ) أنبوب الغفل**: ١ سم$^3$ من محلول اليوراز العملي + ١٠ سم$^3$ ماء مقطر

**ب) أنبوب المحلول القياسي**: ١ سم$^3$ من محلول اليوراز العملي+ ١٠ سم$^3$ من المحلول القياسي العملي لليوريا.

**ج) أنبوب العينة**: ١ سم$^3$ من محلول اليوراز العلمي + ١٠ سم$^3$ من محلول العينة (المخفف ٢٥ مرة).

٥- تحضن الأنابيب الثلاثة لمدة ١٥ دقيقة عند ٣٧°م.

٦- يضاف بسرعة وعلى التوالي ٥ سم$^{٣}$ من محلول نيتروبروسيد الفينول (مادة محفزة) ثم ٥ سم$^{٣}$ من كاشف هيبوكلوريت القاعدي مع الرج بعد كل إضافة.

٧- تحضن الأنابيب مرة أخرى عند درجة حرارة ٣٧°م لمدة ٢٠ دقيقة.

٨- يقاس امتصاص الطيف الضوئي للعينة للمحلول القياسي مقابل محلول الغفل عند طول الموجة ٥٦٠ نانوم.

٩- تحسب اليوريا من المعادلة التالية:

$$\text{يوريا - نيتروجين (ملجم/١٠٠سم}^{٣}) = \frac{\text{قراءة العينة} \times ٥٠}{\text{قراءة المحلول القياسي}}$$

**المحاليل**

**أ) محلول اليوراز الرئيس:** يذاب ٠,٢ جم من إنزيم اليوراز نوع (المحتوي على تركيز ٣٥٠٠ - ٤١٠٠ وحدة/جم) في ١٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر. يضاف أيضًا ١٠سم$^{٣}$ من الجليسرول ويمزج جيدًا. يصلح هذا المحول للاستخدام لتحضير المحلول العملي للإنزيم لمدة ٤ أشهر إذا ما حفظ بالثلاجة.

**ب) محلول اليوراز العملي:** يحضر هذا المحلول بإذابة ١ سم$^{٣}$ من محلول اليوراز الرئيس في ١٠٠ سم$^{٣}$ من محلول EDTA . ويكون التركيز النهائي ٠,٤ وحدة/سم$^{٣}$ وهذا المحلول صالح للاستخدام لمدة أسبوعين إذا ما حفظ بالثلاجة.

**ج) محلول اليوريا القياسي العملي:** يذاب ١٠ سم$^{٣}$ من محلول اليوريا القياسي الرئيس في ٨٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر. يضاف ٠,١ جم من أزيد الصوديوم Sodium azide ثم يكمل الحجم حتى ١٠٠ سم$^{٣}$. ويكون التركيز النهائي هو ٥٠ ملجم/١٠٠ سم$^{٣}$. يصلح هذا المحلول لمدة ٦ أشهر إذا حفظ بالثلاجة.

**د) محلول اليوريا القياسي الرئيس:** يذاب ١,٠٧١ جم عن بودرة اليوريا في ٥٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر، ثم يضاف إليها ١,٠ من أزيد الصوديوم ويكون تركيز هذا المحلول هو ٥ ملجم/١سم$^{٣}$، ويحفظ بالثلاجة، حيث يصلح للاستخدام لمدة ٦ أشهر.

**هـ) محلول نيتروبروسيد الفينول:** يذاب ٥,١٢ جم من نيتروبروسيد الصوديوم $Na_2Fe(CN)_5NO$ في لتر من الماء المقطر. يصلح هذا المحلول للاستخدام لمدة شهرين إذا ما حفظ بالثلاجة.

**و) محلول هيبوكلوريت القاعدي:** يذاب ٥ جم من هيدروكسيد الصوديوم في ٨ سم$^3$ من محلول هيبوكلوريت الصوديوم (٥٪) (كلوراكس يفي بالغرض)، ثم يكمل الحجم حتى حجم لتر. يصلح هذا المحلول للاستخدام لمدة شهرين إذا ما حفظ في وعاء داكن داخل الثلاجة.

## الصوديوم

يطرح الجسم من الصوديوم Sodium مع البول ما يتراوح مابين ١٠٠ - ٢٦٠ ميلمول/١٠٠سم$^3$ ويعتمد ذلك على عوامل بيئية وفسيولوجية، منها كمية الصوديوم في الطعام وتركيز الصوديوم في الدم، والرشح الكلوي. كذلك يزداد تركيز الصوديوم بالبول في الحالات التالية:

١- مرض أديسون Addison's disease.
٢- التهاب الكلية المصحوب بفقدان الملح.
٣- مرض الحماض.
٤- مدرات البول المثبطة لإنزيم كاربونيك أنهيدراز (إنزيم نارع الماء الكربوني).

كما ينخفض تركيز الصوديوم بالبول في الحالات الفسيولوجية والمرضية التالية:

١- استنزاف الصوديوم من الجسم.
٢- الإسهالات الشديدة.
٣- النواسير المعوية.
٤- مرض كوشنغ.
٥- انخفاض الصوديوم مع الطعام.
٦- قصور القلب الاحتقاني المؤدي إلى خفض الرشح الكلوي.

يقاس تركيز الصوديوم بالبول بطرق عدة، منها:

١- طريقة المقياس الضوء لهبي Flame photometer.

٢- الطرق الكيميائية.

وطريقة المقياس الضوء لهبي هي الأكثر شيوعًا في المختبرات الطبية، حيث يتم وضع جزء معين من العينة في لهب غير مضيء، فيتكون اللهب بالإشعاع المميز للصوديوم.

## البوتاسيوم

يطرح الجسم البوتاسيوم عن طريق البول ما معدله ٣٠-٩٠ ميلمول/١٠٠سم$^{٣}$، وكما يتغير هذا التركيز في كثير من الحالات الفسيولوجية والمرضية. ويزداد تركيز البوتاسيوم في البول في الحالات التالية:

١- تعاطي مدرات البول المثبطة لإنزيم نازع الماء الكربوني Carbonic anhydrase.

٢- مرض الحماض خاصة المصاحب لمرض السكري في العمر المبكر، وكذلك في حماض النبيبات البولية Renal tubular acidosis.

٣- القصور الكلوي الحاد، حيث يزيد تركيز البوتاسيوم في البول بسبب زيادة الرشح في طول الإدرار.

٤- مرض كوشنغ.

وكما ينخفض البوتاسيوم في البول في الحالات التالية:

١- مرض أديسون.

٢- الإسهال المزمن.

٣- القيء الشديد.

٤- التهاب الكبب الكلوية، وهو التهاب جرثومي قد يحدث بعد الإصابة بالتهاب العقديات، كالتهاب الحلق، وأعراضه مشابهة لأعراض التهاب الكلى والحويضة بالإضافة إلى التورم (الذي يبدأ في الكاحلين والوجه)، وظهور الدم في البول.

٥- حالات التبول القليل.

ويقاس البوتاسيوم في البول بعدة طرق، منها:

١- طريقة المقياس الضوء لهبي.

٢- الطرق الكيميائية.

ومن الطرق الكيميائية المستخدمة لتقدير كمية البوتاسيوم في البول طريقة الكوبلت - النيتريت من خلال تكوين راسب من مركبات البوتاسيوم غير الذائبة من الكوبلت - النيتريت. وفيما يلي خطوات هذه الطريقة:

١- يوضع ٢ سم$^3$ من البول في جفنة، ثم تسخن حتى ٤٠٠°م لمدة ساعتين؛ وذلك حتى تحترق جميع المواد الكربونية.

٢- يذاب الرماد في ١,٠ عياري حمض الهيدروكلوريك، ثم ينقل المحلول بشكل كامل إلى قارورة سعتها ١٠ سم$^3$، وتغسل الجفنة بماء مقطر، وتضاف إلى القارورة.

٣- يكمل الحجم بواسطة الماء المقطر حتى ١٠ سم$^3$، وتمزج المحتويات جيدًا.

٤- يؤخذ ٠,٢سم$^3$ من هذا المحلول، وتوضع في أنبوب اختبار.

٥- يضاف٠,٥ سم$^3$ من كاشف كوبلت - نيتريت (يذاب ٢٥ جم من نيترات الكوبلتوز في ٥٠سم$^3$ من الماء المقطر، ثم يضاف إلى هذا المحلول ١٢,٥سم$^3$ من حمض الخليك الثلجي.

٦- يترك المحلول جانبًا لمدة ٤٥ دقيقة ثم يضاف إليه بعدها ١ سم$^3$ من الماء المقطر.

٧- بعد خلط المحتويات يعمل لها طرد مركزي لمدة ١٠ دقائق.

٨- يطرح الرائق بالكامل، ثم يضاف إلى الراسب ٢ سم$^3$ من الماء، ثم يوضع الأنبوب في حمام مائي في درجة الغليان حتى يتم ذوبان الراسب.

٩- يضاف إلى الأنبوب ١ سم$^3$ من محلول الجلايسين (٧,٥٪) و٢ سم$^3$ من محلول كربونات الصوديوم (١٥٪).

١٠- تخلط محتويات الأنبوب جيدًا ثم يضاف إليها ١ سم$^3$ من كاشف فولين - سيوكالتو المخفف، حيث يحضر من المحلول الأساسي لكاشف فولين - سيوكالتو (حجم من الكاشف + حجمان من الماء).

١١- يترك الأنبوب في حمام مائي عند حرارة ٣٧°م لمدة ١٥ دقيقة.

١٢- يبرد الأنبوب إلى درجة حرارة الغرفة، ويكمل الحجم بواسطة الماء المقطر حتى ١٠٠ سم$^{٣}$.

١٣- يحضر محلول قياسي للبوتاسيوم (تركيز ١٩,٥ ملجم من البوتاسيوم /١٠٠سم$^{٣}$) حيث يؤخذ من المحلول ٠,٢ سم$^{٣}$ ويعامل جنبًا إلى جنب وبنفس الخطوات التي تعامل بها عينة البول.

١٤- يقاس امتصاص الطيف عند طول الموجة ٧٠٠ نانوم.

١٥- يحسب تركيز البوتاسيوم من المعادلة التالية:

$$\text{تركيز البوتاسيوم (ميلي مكافيء/ل)} = \frac{\text{قراءة عينة البول} \times ٠,٠٠١ \times ١٠٠٠}{\text{قراءة المحلول القياسي} \times ٠,٢}$$

ويجب ملاحظة أن حاصل (ميلي مكافيء/ل) × ٣,٩ = ملجم/١٠٠ سم$^{٣}$.

هذا، ويحضر كاشف فولين - سيوكالتو الأساسي تبعًا للطريقة التالية:

يذاب ١٠٠ جم من تنجستات الصوديوم و٢٥ جم من موليبدات الصوديوم في ٧٠٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر موضوعة في قارورة سعتها لتران. يضاف إلى المحلول ٥٠ سم$^{٣}$ من حمض الفوسفوريك و١٠٠سم$^{٣}$ من حمض الهيدروكلوريك المركز. يغلى الخليط مدة ١٠ ساعات، ثم يضاف إليه ١٥٠ جم من كبريتات الليثيوم و٥٠ سم$^{٣}$ من الماء المقطر وعدة نقط من البروم. يستمر في الغليان لمدة ١٥ دقيقة، بعدها يبرد المحلول، ويكمل الحجم حتى لتر ويحفظ في زجاجة ذات لون داكن.

## الكلوريدات

يطرح الجسم من الكلوريدات ما يتراوح من ١٠٠ - ٢٠٠ ميلمول/١٠٠ سم$^{٣}$ بول على هيئة كلوريد الصوديوم. ويعتمد ذلك على كمية الملح التي يتناولها الإنسان.

وقد يزداد أو ينخفض كلوريد البول تبعًا للعديد من الحالات الفسيولوجية. ومن الحالات التي يحدث بها ارتفاع في تركيز الكلوريد بالبول ما يلي :

١ – مرض أديسون.

٢ – تعاطي مدرات البول.

٣ – استنزاف البوتاسيوم من الجسم.

٤ – التهاب الكلية الفاقد للملح Salt loosing nephritis.

بينما ينخفض تركيز الكلوريد في البول في الحالات التالية :

١ – حالات الأوديما Oedema التي تعمل على احتباس الأملاح والماء بالجسم.

٢ – القيء المستمر.

٣ – الإسهالات الشديدة.

٤ – النواسير المعوية.

٥ – التعرق الشديد.

٦ – مرض كوشنغ.

٧ – انخفاض الملح في الطعام.

هنالك عدة طرق لقياس تركيز الكلوريد في البول ، منها :

١ – طريقة فولارد Volhard method.

٢ – طريقة قياس الجهد.

تشتمل طريقة فولارد لقياس الكلوريد على ترسيبه بواسطة نيترات الفضة بوجود حمض النيتريك تبعًا للخطوات التالية :

١ – توضع ١٠ سم$^{٣}$ من عينة البول في قارورة مدرجة.

٢ – يضاف ٢٠ سم$^{٣}$ من محلول نترات الفضة القياسي ، ويترك المزيج جانبًا لمدة ١٠ دقائق.

٣ – يكمل الحجم حتى ١٠٠ سم$^{٣}$ بواسطة الماء المقطر.

٤- يرشح المحلول، ثم يؤخذ ٥٠ سم$^{٣}$ من الجزء المرشح، وتوضع في قارورة مخروطية.

٥- يضاف ٥ سم$^{٣}$ من شبة الحديديك Ferric alum.

٦- يعاير المحلول بواسطة محلول أمونيوم كبريت السيانيد (٠,٧٦٪) حتى يظهر اللون الوردي أو الأحمر الفاتح.

٧- يحسب تركيز الكلوريد كما يلي:

ميلي مكافي/ ٥سم$^{٣}$ بول = (١٠- حجم أمونيوم كبريت السيانيد المستخدم في المعايرة).

## الفسفور

يتراوح ما يطرحه جسم الإنسان السوي من الفسفور Phosphorus مع البول مابين ٠,٩-١,٣ جم/٢٤ س. وعمومًا، فالفسفور أكثر تركيزًا في بول الأطفال منه عند البالغين وكذلك أعلى في عينة المساء منها في الصباح، ويزداد تركيز الفوسفات بالبول في الحالات التالية:

١- في حالة تضخم الغدة جار الدرقية Hyperparathyroidism الناتج من نشاط زائد للغدد جار الدرقية مما ينتج عنه تحلل الكالسيوم من العظم؛ ومن ثم يرتفع تركيزه بالدم والبول.

٢- التسمم الكلوي.

٣- متلازمة فانكوني.

٤- مرض الحماض الناتج عن التهاب النبيبات الكلوية.

٥- تناول وجبات الحليب ومشتقاته باستمرار.

وينخفض تركيز الفسفور بالبول في الحالات التالية:

١- في حالة نقص فيتامين د الذي يؤدي إلى خفض امتصاص الفسفور من نواتج الهضم في الأمعاء.

٢- قصور في نشاط الغدد الدرقية، أو في حال استئصالها. ومعروف أن لإفرازات هذه الغدد أهمية كبيرة في تنظيم أيض الكالسيوم والفسفور.

يطرح الفسفور بالبول بأشكال مختلفة ؛ مما يجعل بعض الصعوبة في قياس تركيزه ويشتمل قياس تركيز الفوسفات تحويل الأشكال العضوية إلى أشكال غير عضوية ، ومن ثم تقدير الفوسفات غير العضوي كفوسفات كلي. ولقياس تركيز الفسفور تتبع الخطوات التالية :

١- يوضع ٢ سم$^{٣}$ من عينة البول في أنبوب اختبار.

٢- يضاف إليها ٣ سم$^{٣}$ ماء مقطر.

٣- يضاف ٩ سم$^{٣}$ من حمض الخليك ثلاثي الكلور (١٠٪) ، ثم يرج جيدًا ويرشح بعد ٥ دقائق.

٤- يحضر كل من أنبوب الاختبار والأنبوب القياسي كما يلي :

| أنبوب الاختبار | الأنبوب القياسي |
|---|---|
| ٥ سم$^{٣}$ من الراشح (٠,٧سم$^{٣}$ من البول) | ٥سم$^{٣}$ من محلول الفوسفات القياسي (٠,٢ ملجم) |
| ٠,٤ سم$^{٣}$ فوق حمض الكلوريك | ٠,٤ سم$^{٣}$ فوق حمض الكلوريك |
| ٠,٤ سم$^{٣}$ محلول موليبدات الأمونيوم (٥٪) | ٠,٤سم$^{٣}$ محلول موليبدات الأمونيوم (٥٪) |
| ٠,٢ سم$^{٣}$ من أمينونافثول حمض السلفونيك (Aminonaphthol Sulphonic acid) | ٠,٢ سم$^{٣}$ من أمينونافثول حمض السلفونيك |

٥- ترج محتويات كل أنبوب بلطف بعد كل إضافة ، ثم تقلب وترج جيدًا في النهاية.

٦- يقرأ امتصاص الطيف عند طول الموجة ٧٠٠ نانوم.

٧- يحسب تركيز الفوسفات غير العضوية من المعادلة التالية :

$$\text{الفوسفات اللاعضوية (ملجم/١٠٠سم}^{٣}) = \frac{\text{قراءة أنبوب الاختبار} \times ٠,٠٢ \times ١٠٠}{\text{قراءة الأنبوب القياسي} \times ٠,٧}$$

## الرصاص

لا يحتوي بول الإنسان السوي على أكثر من ١٠٠ ميكروجرام رصاص/٢٤ س وهذه الكمية ناتجة عن دخول الرصاص Lead إلى الجسم بسبب تلوث الطعام، ومياه الشرب وجسيمات الغبار المحتوية على مركبات الرصاص. وقد تفاقمت هذه المشكلة مع استخدام الوقود المحتوي على الرصاص. وكما تتفاقم المشكلة لدى الأطفال الذين يبتلعون طلاء النوافذ والأبواب، ويقرضون أقلام الرصاص. كما يتعرض العاملون في المنشئات التي تستخدم الرصاص إلى دخول تراكيز مرتفعة من الرصاص إلى أجسامهم. كما يرتفع تركيز الرصاص في البول في الحالات التالية:

١- تسمم الرصاص الحاد، ولا ترتفع كمية الرصاص بالبول في حالة التسمم المزمن، لكن يتراكم بشكل كبير في الأنسجة.

٢- تعاطي المركبات المخلابية Chelating agents، مثل Ca EDTA؛ حيث تعمل هذه المركبات على تفكك الرصاص المتراكم بسبب التسمم المزمن، مما يرتفع معه تركيز الرصاص بالبول، وقد يصل حتى ٢٥٠٠ ميكروجرام/بول ٢٤ س.

يمكن قياس الرصاص بالبول بعدة طرق، منها:

١- بواسطة جهاز الامتصاص الذري Atomic absorption.

٢- عن طريق ترسيب الرصاص على هيئة ملح الأوكزلات.

ولترسيب الرصاص على هيئة ملح الأوكزلات تتبع الخطوات التالية:

١- توضع ١٠ سم$^3$ من عينة البول في أنبوب طرد مركزي.

٢- تضاف نقطة من دليل أخضر بروموكريزول و١ سم$^3$ من أوكزلات الأمونيوم المشبعة و٥,٠ سم$^3$ من محول كلوريد الكالسيوم وحمض الخليك (١٠٪).

٣- يخلط المزيج، ويترك جانبًا لمدة ٢٠ دقيقة.

٤- يعمل طرد مركزي لمحتويات الأنبوب.

٥- يطرح الرائق، ثم يضاف ٠,٥ سم$^{٣}$ من محلول فوق حمض الكلوريك، ويسخن الأنبوب في حمام مائي أو فوق سخان كهربائي حتى يصبح المزيج عديم اللون، ويتبخر المحلول بالكامل.

٦- يبرد الأنبوب، وتضاف إليه ١ سم$^{٣}$ ماء مقطرًا، و١ سم$^{٣}$ من محلول سترات الصوديوم و١,٠ سم$^{٣}$ من أزرق الثايمول ومحلول الأمونيا المخفف، نقطة نقطة حتى يصبح لون المزيج أزرق.

٧- يضاف ٦ سم$^{٣}$ من محلول ثنائي الثيزون في التلوين، و١ سم$^{٣}$ من محلول سيانيد الصوديوم.

٨- يرج الخليط حتى يتكون اللون الأحمر في التلوين.

٩- يفصل محلول التلوين، ثم يقاس امتصاص الطيف عند طول الموجة ٥٢٠ نانوم.

١٠- يقاس امتصاص الطيف لمحلول قياسي معروف التركيز.

١١- يحسب تركيز الرصاص من المعادلة التالية:

$$\text{الرصاص (ميكروجرام/٢٤ س)} = \frac{\text{قراءة أنبوب الاختبار} \times \text{تركيز الرصاص في المحلول القياسي} \times \text{حجم البول/٢٤ س}}{\text{قراءة الأنبوب القياسي} \times ١٠}$$

## النحاس

يطرح الإنسان السوي كمية قليلة جداً من النحاس في بوله لا تزيد عن ٧٠ ميكجرام/ ٢٤ س. ويزداد النحاس في البول في الحالات التالية:

١- مرض ويلسون Wilson's disease، وهو مرض خلقي متعلق بأيض النحاس، ويؤدي إلى خلل في الجهاز العصبي.

٢- المتلازمة النفروزية Nephrotic syndrome التي يرتفع فيها طرح الألبومين بالبول بينما يقل تركيزه في البلازما؛ بسبب الازدياد في نفاذية الشعيرات الدموية في الكبب الكلوية، أو بسبب التهاب حاد في الكبب الكلوية. كذلك قد يشاهد ذلك في حالة مرض السكري، ومرض الأوديما. وعندما يزداد طرح الألبومين بالبول خلال الكبب الكلوية يزداد معه طرح النحاس بسبب ارتباطه مع البروتين فيرتفع تركيزه بالبول، ويقل في البلازما.

٣- تعاطي أدوية البنسلامين Penecillamine؛ حيث يسبب هذا الدواء زيادة في طرح النحاس بالبول.

## الإنديكان

يطرح في البول جزء بسيط من الإنديكان Indican يتراوح ما بين ٥ - ٢٠ ملجم/٢٤ س. والإنديكان عبارة عن كبريتات الأندوكسيل. ويزداد الإنديكان بشكل كبير في البول في بعض الحالات المرضية، منها:

١- تعفن في محتويات الأمعاء.

٢- في حالة مرض الغنغرينا.

٣- في حالة تكون الصديد والعفن في أنسجة الجسم خاصة العضلات.

تعتمد طرائق الكشف عن الإنديكان في البول عن طريق أكسدته بواسطة البرمنغنات، أو كلور الحديد، أو أزرق أنديكو، كما في الخطوات التالية:

١- تؤخذ ٥ سم$^{٣}$ من البول، وتوضع في أنبوب اختبار.

٢- تضاف ٥ سم$^{٣}$ من حمض الهيدروكلوريك المركز، ثم تضاف ٣ نقاط من محلول هيبوكلوريت الصوديوم Sodium hypochlorite.

٣- تضاف إلى الخليط ٣ سم$^{٣}$ من الكلوروفورم، ويرج بعد ذلك عدة مرات.

٤- يلاحظ اللون المتكون مباشرة.

**النتيجة**

لون أزرق خفيف – تركيز طبيعي.

لون أزرق غامق – تجاوز المعدل الطبيعي (الشكل رقم ٢٩).

**الشكل رقم (٢٩). صورة فوتوغرافية تظهر نتيجة الكشف عن الإنديكان.**

## حمض اليوريك

يحتوي بول الإنسان السوي على ٢٥٠ – ٧٥٠ ملجم/٢٤ س من حمض اليوريك Uric acid. ويختلف التركيز تبعًا لنوع الغذاء، خاصة كمية البروتينات في الطعام. يزداد حمض اليوريك في البول في الحالات التالية:

١ – اللوكيميا Leukemia.

٢ – في حالة الزيادة في إنتاج كريات الدم الحمراء Polycythaemia.

٣ – مرض ويلسون.

٤ – تعاطي أدوية ستيرويدات الكظرية.

وينخفض حمض اليوريك في البول في الحالات التالية :

١ – مرض النقرص.

٢ – تعاطي أدوية Allopurinol.

يقاس تركيز حمض اليوريك في البول بعدة طرائق ، منها :

١ – طريقة اليوركاز Urecase method.

٢ – طريقة فولين.

**١ – طريقة اليوركاز (البوليكاز)**

أ) يخفف البول بنسبة ١ : ١٠ ، ثم يؤخذ ١ سم$^3$ من البول ، ويوضع في أنبوب اختبار.

ب) يضاف إلى محتوى الأنبوب ٧ سم$^3$ من محلول منظم الجلايسين Glycin buffer (يذاب ٥٠ جم من الجلايسين في ٤٠٠ سم$^3$ ماء مقطر ، ثم يضاف ٢٢ سم$^3$ من محلول عياري هيدروكسيد الصوديوم ، ويخفف المحلول إلى لتر) ، ويخفف عند الاستخدام ١٥ سم$^3$ من هذا المحلول إلى ١٠٠ سم$^3$.

ج) يضاف ١,٥ سم$^3$ من محلول البوليكيز ، ويتم حقن الخليط عند ٣٧°م لمدة ساعتين. يحضر محلول البوليكيز قبل الاستخدام مباشرة ، بحيث يذاب ٥ ملجم من مسحوق الإنزيم في ١٠ سم$^3$ من محول منظم الجلايسين المخفف.

د) يضاف ٩ سم$^3$ من حمض الخليك ثلاثي الكلور (١٠٪) ، ثم تترك المحتويات جانبًا لمدة ٢٠ دقيقة.

هـ) يعمل طرد مركزي للمزيج لمدة ١٠ دقائق.

و) يؤخذ الجزء الرائق ، ويتم قياس طيف الامتصاص عند طول الموجة ٢٩٠ نانوم. ويصاحب ذلك قياس طيف الامتصاص عند نفس طول الموجة لكل من الاختبار الصوري القياسي والصوري الاختباري. يحضر المحلول القياسي ، بحيث يكون التركيز ١٠ ملجم/١٠٠سم$^3$.

ز) يحسب تركيز حمض اليوريك من المعادلة التالية :

$$\text{حمض اليوريك (ملجم/١٠٠سم}^{٣}) = \frac{\text{(قراءة المحلول القياسي الصوري مقابل التصفير بالمحلول القياسي)} \times ١٠}{\text{قراءة المحلول الاختباري الصوري مقابل التصفير بالمحلول الاختباري}}$$

ومبدأ طريقة القياس هذه أن لحمض اليوريك طيف امتصاص عند طول الموجة ٢٩٠ نانوم، وحيث إنه قد يحتوي البول على مواد أخرى لها طيف امتصاص عند نفس طول الموجة ؛ لذا تعالج عينة البول بإنزيم اليوركيز الذي يحطم حمض اليوريك، ويكون النقص في الامتصاص الطيفي مقابل العينة القياسية هو بسبب النقص بحمض اليوريك الذي حطمه الإنزيم.

## كيتوستيرويد – ١٧

يتنج كيتوستيرويد – ١٧ من أيض الهرمونات الذكرية التي تفرز من الغدة الكظرية عند الجنسين، ومن الخصية عند الذكور، وتطرح في البول بعد ارتباطها مع حمض الجلوكورنيك. ويقدر أن ثلث كمية كيتوستيرويد – ١٧ في بول الرجال مصدره الخصية، بينما في النساء والأطفال فمصدره الغدة الدرقية. ويتراوح ما يطرحه الأطفال من كيتوستيرويد– ١٧ في البول ما بين ١ – ٤ ملجم/بول ٢٤ س من عمر سنة – ٨ سنوات، حيث يزداد التركيز بتقدم العمر حيث يصل حتى ١٥ ملجم/٢٤ س عند عمر١٥ سنة، بينما يتراوح ما يطرحه الذكور البالغون فهو حوالي ٨ – ٢٠ ملجم/٢٤ س. والإناث البالغات ٤ – ١٥ ملجم/٢٤ س. ويرتفع تركيز كيتوستيرويد – ١٧ في البول في الحالات التالية :

١ – نشاط زائد للغدة الكظرية، خاصة تلك الناتجة عن أورام قشرة هذه الغدة Adrenal cortical tumours.

٢- أورام الخصية المتعلقة بالخلايا الخلالية Interstitial cells.

٣- متلازمة كوشنغ Cuching's syndrome الناتجة عن ورم في قشرة الغدة الكظرية.

٤- سرطان الغدة الكظرية.

٥- تضخم الغدة الدرقية.

٦- أورام في الجسم الأصفر في المبيض.

وينخفض كيتوستيرويد-١٧ في البول في الحالات التالية:

١- مرض سيموند Simmond's disease الناتج عن قصور في عمل الغدة النخامية، مما ينتج عنه توقف عن النمو.

٢- مرض أديسون عند النساء.

٣- مرض الكثم Cretinism بسبب قصور في إفراز الغدة الدرقية الذي من مظاهره تضخم العنق وإعاقته النمو الطبيعي.

٤- قصور في إفراز هرمون التستوستيرون عند الرجال.

ويعتبر تفاعل زمرمان Zimmerman reaction من أفضل الطرق لقياس تركيز كيتوستيرويد - ١٧ في البول. وميكانيكية هذا التفاعل هو تفاعل كيتوستيرويد - ١٧ مع ثنائي نيتروالبنزين Dinitrobenzene في الوسط القاعدي مكونًا لونًا بنفسجيًا.

## الأسبرين

يكشف عن الأسبرين في البول كما يلي: يضاف إلى ٥ مل من البول ١ مل من حمض كلوريد الحديديك (١٠٪) ثم يسخن على لهب خفيف لاستبعاد وجود أسيتون في البول. فإذا وجد الأسبرين أو مركبات السلسلات Salicylates، فإنه يتكون لون بنفسجي. ويُعد هذا الفحص شديد الحساسية، حيث يمكن أن يسجل نتيجة إيجابية عند ابتلاع ٠,٣ جم من حبة الأسبرين. وتجدر الإشارة إلى أن بعض المواد تعطي نتيجة إيجابية لهذا الفحص عند وجودها في البول، مثل مركبات الفنيل، ومشتقات الفينول.

## الحموض الأمينية

يتراوح ما يطرحه الجسم من نيتروجين الحموض الأمينية Amino acids نحو ١٠٠ - ١٥٠ ملجم /بول ٢٤ س. وهذه النسبة تعادل نحو ١٪ من النيتروجين الكلي الذي يطرحه الجسم في البول. ويرتفع تركيز الحموض الأمينية في البول بالحالات التالية:

١- مرض التيفوئيد.

٢- التبول السستيني Cystinuria.

٣- متلازمة فانكوني Fanconi syndrome، وهذه حالة قد تكون وراثية أو مكتسبة تؤدي إلى طرح كثير من الحموض الأمينية في البول، يصاحبها خلل في عملية إعادة الامتصاص التي تقوم بها النبيبات البولية.

٤- التهاب الكبد الحاد.

٥- مرض هارتنب Hartnup disease.

٦- تلف النبيبات الكلوية، خاصة الناتجة عن حالات التسمم بالعناصر الثقيلة.

٧- مرض ولسون.

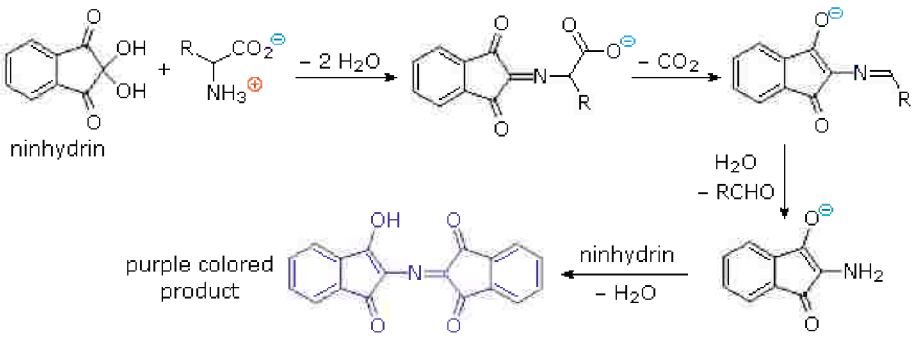
ويعرف طرح الحموض الأمينية في البول بالتبول الحمض الأميني Aminoaciduria.

وكما هو معروف، فإن من مظاهر الأيض الخاطئ لكثير من الحموض الأمينية طرح تركيز مرتفع منها في البول، يؤدي عند الأطفال خاصة بعض حالات التخلف العقلي وبخاصة تلك ذات الأصول الوراثية. ومعظم الحالات التي ذكرت يرتفع معها تركيز الحموض الأمينية بالبول لا يصاحب ذلك ارتفاعها في الدم.

ومن أفضل الطرائق للكشف عن الحموض الأمينية بالبول هي طرائق الكروماتوجرافيا المتعددة. ومن أكثر الحموض الأمينية ظهورًا في البول في الحالات المرضية، هما السستين والجلايسين.

ومن الطرائق المستخدمة أيضًا للكشف عن الحموض الأمينية في البول بواسطة تفاعل ننهيدرن Ninhydrin reaction، حيث يتفاعل النهيدرن مع جميع الحموض

الأمينية باستثناء البرولين وهيدروكسي البرولين تبعاً للمعادلات التالية :




ويتم الكشف من خلال إضافة عدة نقاط من محلول ننهيدرن إلى ١ سم$^{٣}$ من البول، ثم يغلى الخليط لمدة دقيقتين، فإذا تكون لون قرمزي دل على وجود حموض أمينية، ويعمل هذا الفحص بموازاة عينات ضابطة موجبة وسالبة.

## الكرياتنين

يكاد يكون تركيز الكرياتنين Creatinine، وهو عبارة عن كرياتين لا مائي مكون من مثيل جوانيدين حمض الخليك Methyl-guanidine-acetic acid. الكرياتنين في بول الإنسان السوي ثابت لا يتأثر بحجم البول، حيث إنه يعتمد على كتلة عضلات الجسم. ويتراوح ما يطرح من الكرياتنين في بول الذكور حوالي ١,٥ – ٢ جم/٢٤ س وفي بول الإناث حوالي ٠,٨ – ١,٨ جم/٢٤ س. ويرتفع تركيزه في الحالات التالية :

١ – قصور في نشاط الغدة الدرقية.

٢ – مرض السكري.

٣ – فرط في إفراز هرمون النمو.

٤ – تناول كميات كبيرة من اللحوم.

٥- أمراض العضلات Myopathies.

٦- اضطراب الغدد الصماء.

كما ينخفض في الحالات التالية:

١- نشاط زائد للغدة الدرقية.

٢- لوكيميا.

٣- الخثول العضلي.

٤- تعاطي أدوية تمنع طرح الكرياتنين عن طريق الكلية.

ولقياس تركيز الكرياتنين في البول أهمية كبيرة؛ لاستقصاء وضع الكلية. ويعرف هذا الفحص بـ "فسح الكرياتنين Creatine clearance" ولهذا الفحص دلالة حول الرشح الكبيبي للكلية. وتحسب تبعًا للمعادلة التالية:

$$\text{فسح الكرياتنين} = \frac{\text{كرياتنين/١٠٠سم}^3 \text{ بول} \times \text{حجم بول ٢٤ س}}{\text{كرياتنين/١٠٠ سم}^3 \text{ بلازما} \times ١٤٤٠}$$

حيث إن الثابت ١٤٤٠ هو عدد دقائق اليوم (٢٤ ساعة)، ويبلغ مقدار فسح الكرياتنين في الرجل البالغ ٨٥ - ١٢٥ سم$^3$/دقيقة، وفي المرأة البالغة ٧٥ - ١١٥ سم$^3$/دقيقة. وتنخفض فسح الكرياتنين في جميع الحالات المرضية التي تقلل من الرشح الكبيبي للكلية. هذا، وينخفض فسح الكرياتنين في الحالات التالية:

١- انخفاض في حجم الدم بالجسم Hypovolaemia.

٢- التسمم الكيميائي للكلى.

٣- التهاب الكبب الكلوي الحاد والمزمن.

٤- النوبات الناتجة عن تسمم الدم أثناء الحمل Eclampsia.

٥- التهاب حوض الكلية.

٦- ارتفاع الضغط الخبيث Malignant Hypertension.

٧- ارتفاع الضغط المصاحب لانقباض شريانات الكلية Hypertensive nephrosclerosis الناتج عن تصلب للشرايين ؛ مما يؤدي إلى خفض كمية البول التي تصل إلى الكلى بسبب ضيق تجويف الأوعية الدموية ، ويقود في كثير من الحالات إلى التسمم البولي Uremia.

ويكشف عن الكرياتنين في البول تبعًا للطريقة التالية :

١- توضع ٥ سم$^{٣}$ من البول في أنبوب اختبار.

٢- تضاف عدة نقاط من حمض البكريك (حمض المر) Picric acid المشبع.

٣- تضاف عدة نقاط من هيدروكسيد الصوديوم (١٠٪) لجعل الوسط قلويًا فيتكون لون أحمر غامق أو برتقالي ؛ بسبب ترسب بكرات الكرياتنين ، حيث يتحول هذا اللون إلى أصفر عند إضافة عدة نقاط من ٢ عياري حمض الهيدروكلوريك.

كما يمكن تقدير الكرياتنين بالبول تبعاً لطريقة فولين Folin's method تبعًا للخطوات التالية :

١- تحضر ثلاثة أنابيب اختبار

| | الاختبار | القياسي | التصفير |
|---|---|---|---|
| ماء | صفر | ٤سم$^{٣}$ | ٥سم$^{٣}$ |
| محول الكرياتيني العملي (١ ملجم/سم$^{٣}$) | صفر | ١سم$^{٣}$ | صفر |
| بول مخفف (١/٢٠) | ٥سم$^{٣}$ | صفر | صفر |
| محلول بكرات القلوي حديث التحضير (حجم من هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪ إلى خمسة حجوم من حمض البكريك المشبع) | ٢,٥سم$^{٣}$ | ٢,٥سم$^{٣}$ | ٢,٥سم$^{٣}$ |

٢- تخلط محتويات كل أنبوب جيدًا ، ثم يترك لمدة ١٠ دقائق.

٣- تقاس نسبة نفاذية الطيف Percent transmittance لكل من أنبوب الاختبار وأنبوب المحلول القياسي ، كل مقابل محتوى أنبوب التصفير عند طول الموجة ٤٩٠ نانوم.

٤- يحسب تركيز الكرياتنين تبعًا للمعادلة التالية :

$$\text{الكرياتنين (ملجم/١٠٠سم}^3\text{ بول)} = \frac{\text{قراءة محلول الاختبار} \times ١٠٠}{\text{قراءة المحلول القياسي} \times \text{حجم البول المستخدم}}$$

## الكليوس

يعرف وجود الكليوس Chyle بالبول بالتبول الكليوسي Chyluria ، حيث يؤدي وجوده في البول إلى إكساب البول المظهر الحليبي. وهو عبارة عن دهن مهضوم حليبي المظهر يدخل إلى الأنابيب اللبنية في الأمعاء الدقيقة ، ومكون من دهون مستحلبة مع لمف. ويحدث ذلك عند حدوث انسداد في مجرى القناة الصدرية Thoracic duct ؛ مما يؤدي إلى تفجر الأوعية اللمفاوية في المجرى البولي ، وبسبب ذلك تختلط مع البول. ولهذا ، فإن التبول الكليوسي هو اتصال بين محتوى الأوعية اللمفاوية مع القناة البولية. كذلك قد تشاهد هذه الحالة في مرض الفيل Filariasis ، وهو مرض طفيلي تسببه إحدى الديدان الخيطية Filaria والذي من أحد عوارضه حدوث التهاب في العقد اللمفاوية والأوعية اللمفاوية.

## الدهون

تعرف حالة ظهور الدهون بالبول بالتبول الدهني Lipuria ، ويمكن أن يحدث ذلك بعد تناول كميات كبيرة من الدهون ، وفي حالات مرضية ، مثل بيلة شحمية Lipemia المرتبطة بمرض السكري ، ومرض Lipoid nephrosis ، وفي حاله حدوث شرخ في العظام الكبيرة ، أو إلحاق الضرر في الطبقات الدهنية تحت الجلد ، ومرض التهاب حوض الكلية Pyonephrosis وكذلك في حالات التسمم الكحولي والتسمم الفسفوري.

وعندما يرتفع تركيز الدهن بالبول تظهر على سطحه طبقة كريمية إذا ما ترك ساكنًا.

## حمض فينل الماندليك

يتراوح المعدل الطبيعي لحمض فينل الماندليك Vanillylmandelic acid (يرمز له بالرمز VMA) ما بين ١,٨ - ٧,١ ملجم/٢٤ س، ويرتفع هذا الحمض بالبول في الحالات التالية:

١- ورم في لب الغدة الكظرية.

٢- مرض القواتم Phaeochronocytoma.

٣- الحالات السرطاوية Carcinoid.

٤- الجهد العضلي الشديد.

وقبل قياس تركيز حمض فينل الماندليك في البول، فإنه يجب على المريض قبل يومين من الفحص وأثناء جمع عينة البول تجنب تناول المكسرات، والشكولاتة؛ والأغذية المشتملة على الفانيلا، والجلو، والمربي، والفواكه، وعصرياتها؛ والشاي، والقهوة؛ وكذلك أدوية الأسبرين.

## هيدروكسي حمض الخليك الإندولي

يظهر ٥- هيدروكسي حمض الخليك الإندولي 5-Hydroxyindole acetic acid (يرمز له بالرمز 5-HIAA) في البول كأحد نواتج أيض السرتونين Serotonin الناتج عن بعض الأورام السرطانية التي تصيب الأمعاء. للكشف عن هيدروكسي حمض الخليك الإندولي في البول، فإنه يجب على المريض الامتناع عن تناول الأغذية التي تحتوي السرتونين مثل الموز، والجوز، والأفوكادو قبل ٧٢ ساعة من جمع عينة البول.