



7

泌尿器系と排泄



泌尿器系とは

◇ 泌尿器系とは

【解剖学】【生理学】

泌尿器系は、尿を産生して体液の量と組成の恒常性をたもつとともに、代謝によって生じた分解産物を尿として体外に排出する器官系である。

泌尿器系は尿を産生する腎臓と、尿を体外に排出する尿路とからなる。さらに尿路は、腎臓から尿を運ぶ尿管と、尿を一時的にたくわえる膀胱と、そこから尿を排出する尿道からなる。

腎臓

腎臓の位置

腎臓の位置

◇ 腎臓の位置

【解剖学】

腎臓は重さ100～150gで縦約10～12cm、幅約5～6cm、厚さ約3～4cmのソラマメ形の実質臓器で、第11胸椎から第2腰椎の高さで、脊柱の両側¹⁾に左右1個ずつある。左右の腎臓の上部には、それぞれ小さな副腎がある。

なお右腎の上方には肝臓があるため、右腎²⁾は左腎よりやや低い位置にある。

◇ 腎臓が接する臓器

【解剖学】

右腎は十二指腸、肝臓、右結腸曲に接する。いっぽう左腎は胃、膵臓、脾臓、左結腸曲に接する。

1) 脊柱の両側： 腎臓の上端は正中線から4～5cm離れ、下端は正中線から6～9cm離れた位置にある。

2) 右腎： 右腎は肝臓に圧されるため、左腎よりも軽い。

腎臓の被膜

◇ 腎臓の被膜

【解剖学】

腎臓の表面は線維被膜³⁾とよばれる結合組織でできた膜におおわれる。線維被膜の外側は、脂肪組織からなる脂肪被膜にかこまれる。さらに腎臓をかこむ脂肪組織は、副腎とともに腎筋膜につつまれる。

◇ 腎臓と腹膜

【解剖学】

腎臓は腹膜のうしろで後腹壁に癒着しており、腎臓前面のみが壁側腹膜におおわれている。このため腎臓は腹膜後器官(後腹膜器官) [p.294]のひとつに数えられる。

腎臓の構造

◇ 腎臓の構造

【解剖学】

腎臓は、尿を生成する腎実質と、尿をあつめ尿管に送りだす腎洞(腎杯と腎盂)とからなる。また腎臓から脈管が出入りする部分を腎門という。

◇ 腎臓の上皮組織

【解剖学】

腎臓において生成された尿があつまる腎洞(腎杯と腎盂) [p.351]の上皮は移行上皮 [p.39]であり、腎実質にあるネフロン(ボーマン嚢、尿細管) [p.352]や集合管 [p.356]の上皮は尿の生成にともなう濾過、再吸収、分泌などの物質移動にかかわるため、単層扁平上皮または単層立方上皮 [p.38]からなる。

3) 線維被膜： 線維被膜は腎実質の表面をおおい、弾性を欠く強靱な線維性結合組織からなる。

腎門

腎門

【解剖学】

腎臓の内側縁の中央部にあるくぼんだ部分を腎門⁴⁾という。腎門には、腎動脈、腎静脈、尿管、神経⁵⁾などが出入りする。

腎循環

【解剖学】

1. 腎動脈

腎臓に分布する動脈である腎動脈は、腹大動脈から左右一対でおこり、腎門から腎実質に入る。腎動脈から腎臓に流入した血液は、葉間動脈を経て腎皮質と髄質との間を走る弓状動脈を流れ、輸入細動脈を経て糸球体に流れこむ。腎臓における尿の生成は、糸球体に流入した血液を濾過^{ろか}することで始まる。

2. 腎静脈

腎門からでた左右腎静脈は、下大静脈にそそぐ。下大静脈は正中線よりも右側を走行するため、右腎静脈は左腎静脈より短く⁶⁾1/3程度の長さしかない。

3. 腎循環の特徴

腎臓における尿の生成は腎に流入する血流量によって維持されており、腎臓には全血流量(心拍出量)の約20%⁷⁾が流入する。なお腎血流量⁸⁾は老化によって大きく低下する。ただし健康人において腎臓が退縮することはない。

4) 腎門： 腎門は、多くの場合第1腰椎体の高さにある。

5) 神経： 腎臓からの内臓求心性神経は、第12胸髄から第2腰髄にはいる。このため内臓病変によるヘッド帯・関連痛は、第12胸神経から第2腰神経のデルマトーム(皮膚分節)上にあらわれる。

6) 右腎静脈は左腎静脈より短く： 右腎静脈は短いため、右副腎静脈、男性の右精巣静脈、女性の右卵巣静脈などは下大静脈に直接そそぐが、左副腎静脈、男性の左精巣静脈、女性の左卵巣静脈などは左腎静脈に流入する。

7) 20%： 腎臓は体重の約5%を占めるにすぎないが、1分間に腎臓に流れこむ血液量は約1Lで、心臓から駆出される血液の約20%をしめる。このように腎臓は、人体においてもっとも血流量の多い臓器のひとつである。

8) 腎血流量： 健康成人の安静時の腎血流量では約1L/分である。生後6か月～1歳の小児の腎血流量は成人の約半分程度であるが、その後増加して3歳でほぼ成人なみとなる。ただし腎血流量は30歳以後は徐々に減少して、90歳では20歳とくらべて半分になる。

腎洞

◇ 腎洞

【解剖学】

腎洞は腎門と腎実質にかこまれて、腎門から腎臓の内部に向かって陥凹した部分で、脂肪組織にかこまれ、内部に尿をいれる袋状の構造をなす。腎洞には、動静脈・神経などがとおる。

脂肪組織にかこまれた腎洞の内部には、腎盂(腎盤)とこれが枝分かれした腎杯がある。

◇ 腎杯

【解剖学】

腎杯は腎錐体の尖端である腎乳頭をつつみ、腎実質で生成された尿をうける。

◇ 腎盂 (腎盤)

【解剖学】

腎盂(腎盤)は、腎実質から腎杯にでた尿が集まる部分である。腎杯から腎盂(腎盤)に集められた尿は腎門から尿管にでる。

腎実質

◇ 腎皮質と腎髓質

【解剖学】

腎実質には、腎臓における尿生成装置である多数のネフロンが放射状にならぶ。また腎臓の実質は、外表面に向かう腎皮質と腎洞に向かう腎髓質とからなる。

◇ 腎葉

【解剖学】

腎髓質には、円錐状の腎錐体が片側の腎臓で10～15個ならぶ。また腎錐体の間にはさまれた領域には、腎皮質の組織が腎洞にまで達している。この隣接する腎錐体の間にある板状の皮質組織を腎柱という。

腎臓においてひとつの**腎錐体**と、それをかこむ**腎柱**および腎皮質の領域を**腎葉**という。腎葉は、腎臓における尿生成の構造的な単位となる。

◇ 腎錐体

【解剖学】

腎葉は腎洞からみると、片側の腎臓の実質に放射状に10～15個ならび、ひとつの腎葉の中心部には、腎錐体とよばれる円錐状の構造がある。

腎錐体の先端は腎髄質のもっとも内側にあり、細くまるくなって乳頭状に腎洞に向かって突出するため**腎乳頭**とよばれる。

腎乳頭の表面は、腎洞の腎杯によって杯をかぶせるように覆われている。腎実質で生成された尿は、腎乳頭から腎杯にでて、これが腎盂(腎盤)に集まっていく。

なお腎臓にある腎葉の数は、腎錐体の数または腎乳頭の数と同じである。

◆◆ ネフロン

◇ ネフロンとは

【解剖学】【生理学】

腎臓における尿生成の最小機能単位を**ネフロン(腎単位)**⁹⁾という。ネフロンは、1個の腎小体とそれにつらなる1本の尿細管からなる。

ヒトの場合、ネフロン(腎単位)は左右の腎臓をあわせて200万個¹⁰⁾ほど存在し、各ネフロンで尿が生成される。

9) ネフロン(nephron;腎単位): ネフロンの数は出生時に決まっており、誕生後は増えることはない。このため何らかの原因でネフロンが破壊されるとネフロンは再生されることなく、不可逆的にネフロン数は減少していく。これによって腎機能障害をきたすことを慢性腎臓病(腎不全)という。

10) 200万個: さまざまな人種の総ネフロン数の平均値はおよそ200万個といわれるが、日本人の場合は平均120万個と、他の人種にくらべて少ないことが知られている。また大きな個体差があることも知られている。さらに高血圧の既往がある者は、正常血圧の者にくらべてネフロン数が少ないこともわかっている。日本人には慢性腎臓病(腎不全)が多いが、その原因のひとつは日本人にネフロン数が少ないことがあげられる。

腎小体

腎小体

【解剖学】【生理学】

ネフロン(腎単位)の一部をなす**腎小体¹¹⁾**は、直径0.1~0.2mmの球形の小体で、原尿を生成する装置としてはたらき、尿生成の出発点となる。

腎小体は、糸球体とボーマン囊からなり、これらはすべて腎臓の皮質中に存在する。

ボーマン囊

【解剖学】【生理学】

ボーマン囊¹²⁾(糸球体包)は、その**内部に糸球体をつつみこむ球状の二重の袋**である。ボーマン囊には、その球の相対する部分に**血管極と尿細管極**がある。

1. 血管極

ボーマン囊の**血管極**には、**輸入細動脈と輸出細動脈**が入り出す。輸入細動脈はボーマン囊血管極の内側で、**糸玉状の毛細血管網(糸球体)**となり、これは**輸出細動脈**となって血管極から出る。

ボーマン囊の外側をおおう膜は血管極で折れかえり、ボーマン囊の内側で糸球体の表面をおおう。このボーマン囊の外側をおおう膜と、糸球体表面をおおう膜の間の空間をボーマン腔という。

2. 尿細管極

ボーマン囊の**尿細管極**からは**近位尿細管**が出る。

糸球体

【解剖学】【生理学】

糸球体はボーマン囊の血管極の内側にあり、血管極にはいる輸入細動脈が分岐と吻合をくりかえして糸玉状の毛細血管網となっている部分である。この毛細血管はふたたび**輸出細動脈**となって血管極から出る。

11) 腎小体: 腎小体はマルピーギ小体(malpighian corpuscle)ともよばれる。(Marcello Malpighi, 1628-1694, はイタリアの生理学・解剖学者で顕微鏡解剖学の創設者といわれる)

12) ボーマン囊(Bowman capsule): ボーマン囊は、糸球体包ともよばれる。(Sir William Eddowes Bowman, 1816-1892, はイギリスの解剖学・生理学者)

◇◇ 原尿の生成

◇ 糸球体濾過

【生理学】

糸球体にながれる血液は、ここからボーマン嚢(ボーマン腔)に濾過(受動輸送) [p.33]される。このボーマン嚢(ボーマン腔)に濾過された液体を、原尿という。

正常な糸球体濾過¹³⁾では、血液中にある小さな分子のみが水分とともに濾過されて原尿となる。血液中の細胞成分(赤血球など)や分子量の大きな蛋白質などは、糸球体の濾過膜を通過することができないため、通常はこれらが尿中に出現することはない。

◇ 糸球体濾過値

【生理学】

単位時間(通常は1分間)あたりに、腎臓のすべての糸球体で濾過されて生成される原尿の量を糸球体濾過値という。

正常な糸球体濾過値¹⁴⁾は約120ml/分であり、1日あたりではおよそ180lにもおよぶ。なお正常な糸球体濾過量は1分間に腎臓に流入する血漿の量である腎血漿流量(約600ml/分)の20%にあたる。

◇ 糸球体濾過圧

【生理学】

糸球体濾過において、原尿を生成する原動力となるのは糸球体における血圧である。

1. 有効濾過圧を決める要素

糸球体濾過における実際の圧の大きさを有効濾過圧といい、これは以下の要素によって決まる。

a. 有効濾過圧を上げる要素

有効濾過圧を上げる要素、すなわち原尿の量を増やす要素としては、以下のようなものがある。

13) 糸球体濾過: 糸球体では、身体に有用なものとそうでないものを区別して濾過しているのではない。糸球体で濾過されるかされないかは、物質のサイズのみで決まる。

14) 糸球体濾過値(glomerular filtration rate; GFR): 1日の尿量は1~2lであり、糸球体で生成された原尿の大部分は尿細管を流れている間に、ふたたび血液中に戻るされている(再吸収)。

- **糸球体における血圧¹⁵⁾(静水圧) ---糸球体濾過において、糸球体の血管内腔から外向きにかかる唯一の濾過圧であり、原尿を生成する原動力となる。**これは通常60mmHg程度で一定に維持されている。

b. 有効濾過圧を下げる要素

有効濾過圧を下げる要素、すなわち原尿の量を減らす要素としては、以下のようなものがある。

- **血漿膠質浸透圧^[p.154]**-----糸球体の毛細血管壁において、血管内への内向きの圧力として約25mmHgの浸透圧としてはたらく。
- **ボーマン嚢内圧**-----ボーマン嚢において、ボーマン腔にある原尿が、ボーマン嚢内部につつまれている糸球体を圧迫する圧である。これは通常15mmHg程度で一定に維持されている。

2. 有効濾過圧

糸球体における有効濾過圧は次の計算式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{有効濾過圧} &= \text{糸球体血圧} - \text{血漿膠質浸透圧} - \text{ボーマン嚢内圧} \\ (20\text{mmHg}) &= 60\text{mmHg} - 25\text{mmHg} - 15\text{mmHg} \end{aligned}$$

このため、糸球体において血漿膠質浸透圧とボーマン嚢内圧が変化しない場合、糸球体血圧が40mmHg以下になると有効濾過圧は0となり、糸球体濾過がおこなえなくなり、尿は生成できなくなる。

◇ **糸球体血圧の自動調節能**

【生理学】

糸球体における血圧(静水圧)は、体循環の血圧がある範囲内で変動¹⁶⁾しても**一定にたもたれる自動能¹⁷⁾(血流量の自己調節機構)**をもつ。これにより**正常な血圧の範囲内¹⁸⁾であれば、糸球体濾過量は一定に維持される。**

-
- 15) 糸球体における血圧：心房への静脈還流量の増加によって心臓から分泌される心房性ナトリウム利尿ペプチドは、輸入細動脈を拡張させ輸出細動脈を収縮させる。これによって糸球体の血圧が上昇し、糸球体濾過量が増加することで、心房性ナトリウム利尿ペプチドは循環血液量を減少させている。
- 16) 体循環の血圧がある範囲内で変動：腎動脈圧で80～200mmHgの範囲であれば、体循環の血圧が変化しても腎血流量がほとんど変わらない。
- 17) 自動能：糸球体血圧の自動調節能は、糸球体の上流にある輸入細動脈と、下流にある輸出細動脈の血管平滑筋が収縮・弛緩することで調節されていると考えられている。すなわち体循環の血圧が上昇したときには輸入細動脈が収縮し輸出細動脈が拡張して糸球体の血圧を低下させ、逆に体循環の血圧が低下したときには輸入細動脈が拡張し輸出細動脈が収縮して糸球体の血圧を維持している。
- 18) 正常な血圧の範囲内：心不全、ショック、脱水、大出血などにより循環血液量が減少して、血圧が自動能のはたらく限度を下まわると、糸球体における血圧が極度に低下し有効濾過圧が低下する。これにより、腎で生成される尿量が減少し乏尿をきたす。このような腎血流量低下に起因する腎不全を腎前性急性腎不全という。

尿細管

尿細管

【解剖学】【生理学】

ネフロン(腎単位)の一部をなす尿細管はボーマン囊の尿管極に始まり、集合管にいたるまでの直径20~30 μ m、全長4~7cmの細い管である。

尿細管壁には、糸球体からでて輸出細動脈が分岐した毛細血管網(尿細管周囲毛細血管)がまきついている。この毛細血管内の血液と、尿細管内の原尿との間ではさまざまな物質交換(再吸収と分泌)がおこなわれる。このようにして、尿細管は糸球体で濾過された原尿を運びながら、その成分を調節して最終的な尿を作り出す。

尿細管は、その構造と機能から近位尿細管、ヘンレループ(ヘンレ係蹄^{けいてい})、遠位尿細管、集合管の分節にわけられる。

1. 近位尿細管

近位尿細管¹⁹⁾は、腎皮質にあるボーマン囊の尿管極からでて、腎髄質にむかっていく部分である。

2. ヘンレループ

ヘンレループ²⁰⁾(ヘンレ係蹄^{けいてい})は尿細管のうち、腎髄質の中を腎乳頭にむかって走行し、腎乳頭の近くでUターンする部分である。これは遠位尿細管へとつづく。

3. 遠位尿細管

遠位尿細管は尿細管のうち、ヘンレループから腎皮質の方向にむかう部分である。

集合管

【解剖学】【生理学】

集合管は、腎皮質内で複数の遠位尿細管があつまって形成される管で、腎皮質から髄質をつらぬいて腎乳頭の先端に開口する。

ネフロンから集合管にあつまった尿は、腎乳頭から腎杯にでて腎盂へと

19) 近位尿細管： 近位尿細管の上皮細胞の表面部分は密集した微絨毛におおわれている。微絨毛は細胞の表面積を増やし、尿細管における再吸収に役立っている。

20) ヘンレループ(Henle loop)： 腎髄質でヘアピンカーブを形成するヘンレループには、尿から水とイオンを再吸収する機能がある。(Friedrich Gustav Jakob Henle, 1809-1885, はドイツ人の医師)」

流れこむ。

◇ 尿細管再吸収

【生理学】

ネフロンの糸球体で血液が濾過されてできた原尿は、ボーマン嚢から尿細管に流入する。原尿中にふくまれる小分子のうち、身体に有用な成分は尿細管において、これをとりまく毛細血管内に回収されていく。この過程を尿細管再吸収という。

1. 近位尿細管やヘンレループで再吸収される物質

- ATP産生の原料となるブドウ糖(グルコース)は、糸球体で濾過された後、多くが近位尿細管で再吸収される。健康人におけるブドウ糖の尿細管での再吸収率はほぼ100%であり、尿中に糖²¹⁾ができることはほとんどない。
- 体内で蛋白質の原料となるアミノ酸は、ほぼ100%再吸収される。
- ナトリウムイオン(体液浸透圧の維持にあずかる)、塩素イオン(胃酸の成分、ニューロンの興奮抑制にあずかる)、重炭酸イオン(体液のアルカリ性維持にあずかる)、カルシウムイオン(骨・歯の形成にあずかる)、リン酸イオン、ビタミン類はそのほとんどが再吸収される。
- 原尿中の水のほとんど(約67%)は近位尿細管での再吸収される。この部位での水の再吸収をおこなうため、尿素²²⁾の一部が再吸収されている。

2. 遠位尿細管や集合管で再吸収される物質

遠位尿細管や集合管では、ナトリウムイオン、水などが再吸収される。

- 尿細管におけるナトリウムイオンの再吸収は、副腎皮質から分泌されるアルドステロン²³⁾によって促進される。
- 集合管における水の再吸収は、下垂体後葉から分泌されるバソプレシン

21) 尿中に糖： 尿細管におけるブドウ糖の再吸収は能動輸送によっておこなわれる。このブドウ糖再吸収能には上限があり、これを上回る量のブドウ糖が原尿中にある場合は、その分量が再吸収されることなく尿中にでる。これを尿糖(糖尿)という。このため糖尿病などで血糖値が異常に上昇し、濾過されるブドウ糖の量が再吸収能をこえると尿糖をみる。

22) 尿素： 原尿中にでた尿素は、その一部が血液側に再吸収される。これにより腎臓の髄質の血液中の尿素が髄質の浸透圧を上げること、尿細管からの水の再吸収が効率よくおこなわれる。なお尿素は細胞膜を透過しやすいため、受動輸送により再吸収される。

23) アルドステロン(aldoosterone)： アルドステロンは、副腎皮質球状層で産生される電解質コルチコイド(ミネラルコルチコイド)のひとつである。アルドステロンは、遠位尿細管および集合管に作用してナトリウムイオンの再吸収を促進するとともに、尿細管へのカリウムイオン、水素イオン、マグネシウムイオンの分泌を促進する。このためアルドステロンの分泌過剰が持続すると高ナトリウム血症をきたし、浮腫(体液貯留)および高血圧になる。

(抗利尿ホルモン)²⁴⁾によって促進される。この結果、原尿中の水の99%は再吸収され、尿として体外に排出されるのは糸球体濾過量の約1%(約1.5l/day)である。

◇ 尿細管分泌

【生理学】

ネフロン糸球体で血液が濾過される量は、血漿流量の20%程度にすぎない。このため腎血流中の濾過されなかった分子のうち、身体に不要な成分は毛細血管内から尿細管内に放出されていく。この過程を尿細管分泌という。

尿細管で分泌される物質としては、アンモニア、尿素、尿酸、クレアチニンなどの窒素代謝産物²⁵⁾や、水素イオンやカリウムイオン、薬物がある。

尿の組成

腎クリアランス

◇ クリアランスとは

【生理学】

クリアランスは、ある物質を腎臓から排泄するとき、1分間でその物質を尿中に排泄することができた血漿量をしめす数値である。クリアランス値は以下の式でもとめられる。

(尿中にふくまれるその物質の濃度×尿量)/(血漿中にふくまれるその物質の濃度)

したがってクリアランス値は、ある特定の物質が尿中にでるとき、それがどの程度の効率で尿中に排泄されるかを表す指標である。

24) バソプレシン(vasopressin; 抗利尿ホルモン): バソプレシンは、視床下部で合成され下垂体後葉から血中へ分泌されるホルモンである。おもに腎集合に作用して水の再吸収を促進する。このためバソプレシン分泌が過剰になると、尿量が減少して体液量が増加する。これによって全身性浮腫や高血圧をきたす。いっぽうバソプレシン分泌が低下すると、尿量が増加(多尿)して、低張尿となるとともに、体液中の水分量が低下して口渇、多飲を呈する。

25) 窒素代謝産物: アンモニア、尿素、尿酸、クレアチニンなどは窒素をふくむ化合物である。これらの物質は体内で不要となった蛋白質やアミノ酸の分解産物である。窒素をふくむ物質のほとんどは、腎臓で尿から出ていく以外に排出経路がない。

◇ さまざまな物質のクリアランス値

【生理学】

クリアランス値は、原尿中にふくまれる物質それぞれが大小さまざまな値をとる。

1. クリアランス値が大きい場合

ある物質についてクリアランス値が大きい場合は、その物質が腎臓でよく排泄されていることを意味する。

2. クリアランス値が小さい場合

ある物質のクリアランス値が小さい場合は、その物質が腎臓であまり排泄されないことを意味する。たとえば糸球体で濾過されても尿細管でほぼ100%再吸収されるブドウ糖(グルコース)やアミノ酸のクリアランス値はほぼ0となる。

◇ クレアチニン・クリアランス

【生理学】

血中クレアチニン²⁶⁾は短時間にあまり変動せず、糸球体で濾過されるのみで、再吸収をほとんど受けない。このため正常なクレアチニン・クリアランスは高値となり、これは腎機能の糸球体濾過値_[p.354]の指標となる。

このため重篤な腎機能の低下(腎不全)がおこると、糸球体濾過値が低下するとともに、クレアチニン・クリアランスが低下し、血中クレアチニン値は上昇する。

◇◇ 尿の組成

◇ 尿の組成

【生理学】

尿の成分は96%が水分であり、4%が固形成分である。おもな固形成分は、尿素および塩化ナトリウムであり、そのほかにカリウム、カルシウム、マグネシウム、硫酸、リン酸、アンモニア、クレアチニン、尿酸などをふくむ。

尿の組成には、以下のような特徴がある。

- ・ 体内の不要になった蛋白質やアミノ酸からでるアンモニア、尿素、尿酸、ク

26) クレアチニン(creatinine)： 生体内でクレアチニンは、横紋筋細胞内などで生成され、血流中にて腎糸球体から濾過され、ほとんど再吸収されことなく尿中へ排出される。

レアチニンなどは窒素をふくむため**窒素代謝産物**と総称され、**尿には多くの窒素代謝産物がふくまれる。**

- **尿には尿細管再吸収率が低い物質が多くふくまれており、尿細管再吸収率が100%近い物質(アミノ酸、ブドウ糖)が尿中に排泄されたときは、何らかの異常をうたがうべきである。**
- **体液の酸塩基平衡を一定にたもつため、尿のpHは5.0～8.0までおおきく変動する。**

◇◇ その他の腎機能

◇◇ レニン・アンギオテンシン・アルドステロン系

◇ 緻密斑

【解剖学】

緻密斑²⁷⁾は、腎皮質において**遠位尿細管が糸球体に接近した部分**をいう。

この部位の輸入細動脈の壁には糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)とよばれる細胞がある。**糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)²⁸⁾**は、輸入細動脈の血流量が減少したときに**レニンを血中に分泌**する。

◇ レニン・アンギオテンシン・アルドステロン系

【生理学】

腎臓から分泌されるレニンによって、アンギオテンシンが活性化され、アルドステロンの分泌を引き起こす一連のメカニズムを**レニン・アンギオテンシン・アルドステロン系**という。

1. レニン分泌

レニンは腎臓の動脈(輸入細動脈)血流量の低下時に、遠位尿細管にある緻密斑の糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)で生成され、血中に分泌される。

レニン・アンギオテンシン・アルドステロン系は、発汗過多などによっておこ

27) 緻密斑： 遠位直尿細管は、その終末部分で元の糸球体の血管極に接触する。その接触部の上皮細胞が小型になり、核が密集してみえる部分を緻密斑という。

28) 糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)： 糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)は腎臓の傍糸球体装置を構成する細胞のひとつで、輸入細動脈の壁で糸球体に近接する部位にあり、レニンをふくむ顆粒をもつ。

る脱水など、細胞外液中のナトリウムイオン濃度が低下したときや、循環血液量が低下したときにはたらく。すなわち腎臓の動脈(輸入細動脈)血流量の低下時に、遠位尿細管にある緻密斑の糸球体近接細胞(傍糸球体細胞)から血中にレニンが分泌されることで始まる。

2. アンギオテンシンとアルドステロン

レニンは、血中を流れるアンギオテンシノーゲンをアンギオテンシン²⁹⁾に変換する。さらにアンギオテンシンは、アルドステロンの分泌促進に作用する。

a. アンギオテンシンの作用

アンギオテンシンは全身の細動脈平滑筋に強力に作用して血管収縮を引き起こし、血圧上昇をもたらす。また副腎皮質からのアルドステロン分泌を促進する。

b. アルドステロンの作用

副腎皮質から分泌されるアルドステロンは、腎臓の尿細管に作用 [p.357] してナトリウムイオンの再吸収を促進するとともに、カリウムイオン、マグネシウムイオン、水素イオンの排泄を促進する作用をもつ。

3. レニン・アンギオテンシン・アルドステロン系の作用

上記のようにレニン・アンギオテンシン・アルドステロン系は、循環血液量と血管抵抗性を調節し血圧上昇に作用することで、腎血流量を一定にたもちコンスタントに尿を生成することに役立っている。またアルドステロンは、尿からのナトリウムイオン喪失を防止し、細胞外液の浸透圧をたもつ³⁰⁾ようにはたらく。

29) アンギオテンシン(angiotensin): アンギオテンシンは、血漿グロブリンのアンギオテンシノーゲンから産生される物質である。血中でレニンによってアンギオテンシノーゲンが切断され、まずアンギオテンシンIが産生され、アンギオテンシンIからアンギオテンシン変換酵素によってアンギオテンシンIIが産生される。生理的活性をもつのはアンギオテンシンIIで、IはIIの前駆体と考えられる。

30) 細胞外液の浸透圧をたもつ: ヒトなどの陸上の動物は、約三億年前に海から陸に上がった動物を祖先とする。このためヒトの細胞外液は海水とほぼ同じ成分でできており、そのナトリウムイオンの力で体液浸透圧を維持している。しかし陸上ではナトリウムを十分に摂取することは容易でない。このため、ヒトには細胞外液のナトリウムイオン濃度を一定にたもつさまざまなメカニズムが備わっている。そのひとつがレニン・アンギオテンシン・アルドステロン系であり、これは腎臓が細胞外液を海水と同じ成分にたもつためのシステムであるといえる。

その他

◇ エリスロポエチン

【生理学】

エリスロポエチン [p.68] は赤血球産生促進因子(造血促進因子)としてはたらく。エリスロポエチンは、腎臓の皮質と髄質との境界部にある尿細管周囲の結合組織で産生される。またその分泌量は、貧血、心肺疾患、高地生活などによって動脈血の酸素分圧が低下したときに亢進して、赤血球の新生を促進し、末梢血中の赤血球数増多³¹⁾にはたらく。

◇ ビタミンDの活性化

【生理学】

食事から摂取されたビタミンD [p.539] はそのままの形では生理作用をもたず、腎臓の尿細管周囲で活性型ビタミンD³²⁾ となって初めてその作用を発揮する。活性型ビタミンDの作用は小腸におけるカルシウム吸収促進、骨組織へのリン酸カルシウムの沈着促進などである。

尿管

尿管の構造

◇ 尿管とは

【解剖学】

尿管は腎臓から膀胱へ尿を運ぶ左右一対の管であり、長さは約30cmである。

31) 赤血球数増多: エリスロポエチンは骨格筋への酸素供給量を高める目的で、持久力を要するスポーツ(自転車競技、マラソンなど)のドーピングに使用されることがある。

32) 活性型ビタミンD: 食事から摂取されたビタミンDは、まず肝臓で25-ヒドロキシビタミンDとなり、さらに腎臓で活性型ビタミンD(1,25-ジヒドロキシビタミンD 1,25-dihydroxyvitamin D)となる。

◇ 尿管壁の構造

【解剖学】

尿管壁は粘膜、筋層、外膜の三層からなる。粘膜は移行上皮でおおわれ、平滑筋層はその蠕動運動³³⁾により尿を膀胱へおくっている。

◇ 尿管の走行

【解剖学】

尿管は後腹壁で腎洞の腎盂(腎盤)^[p.351]につづいて腎門^[p.350]から始まる。

尿管は腹大動脈^[p.128]の後方で、その前面を壁側腹膜^[p.294]におおわれて大腰筋³⁴⁾の前を下行し、総腸骨動脈^[p.132]と交差して、膀胱の後下面(膀胱底)にいたる。

尿管は膀胱の後下面(膀胱底)で、膀胱壁をつらぬいて膀胱に開口^[p.365]する。

◇ 尿管の三大狭窄部

【解剖学】

尿管には途中以下のような生理的狭窄部が3カ所にある。これを尿管の三大狭窄部³⁵⁾という。

- 腎盂^[p.351]から尿管への移行部
- 総腸骨動脈^[p.132]との交叉部
- 膀胱への開口部^[p.365]

33) 蠕動運動： 腎臓において腎盂(腎盤)に一定量の尿がたまると、尿は尿管に排出される。これにより尿管の平滑筋が毎分2～4回程度の頻度で蠕動運動をおこし、尿をパルス状に膀胱へ輸送する。

34) 大腰筋： 大腰筋は股関節の屈筋のひとつで、浅深の2頭からなる。その浅頭は第12胸椎～第5腰椎の体部と椎間板からおこり、深頭は第12肋骨と第1～5の肋骨突起からおこる。小腰筋とともに斜め外側に下行し、筋裂孔をとって小転子に終わる。

35) 尿管の三大狭窄部： 腎盂(腎盤)などで尿中の成分が塊を作ったものを腎結石という。尿管の三大狭窄部では腎臓から流出した結石がつまりやすい。これを尿管結石という。



膀胱



膀胱の位置

◇ 膀胱の位置

【解剖学】

膀胱は骨盤腔内部で恥骨結合³⁶⁾のすぐうしろの小骨盤腔³⁷⁾に位置し、尿を一時的にたくわえる袋状の臓器である。膀胱とその周囲にある臓器・組織との位置関係は以下のとおりである。

- ・ 膀胱の上方および後方は腹膜におおわれる。
- ・ 膀胱の後方^[p.295]は、男性では直腸^[p.284]、女性では子宮³⁸⁾および膣³⁹⁾に接する。
- ・ 男性では膀胱の前下方は前立腺に接し、内尿道口からでる一本の尿道が前立腺をつらぬく。



膀胱の構造

◇ 膀胱の構造

【解剖学】

膀胱は筋性の袋状の臓器で、その形状や大きさはふくまれる尿量により変化する。膀胱に蓄えることができる容量は成人で平均300～500mlで、最大約800mlである。

膀胱は、上部の膀胱尖、下部の膀胱底、およびその中間部の膀胱体に区分される。

36) 恥骨結合： 恥骨結合は骨盤前面正中にあり、左右の寛骨間を結ぶ軟骨性の結合部である。

37) 小骨盤腔： 骨盤腔は、前方を恥骨、後方を仙骨前面、両側方を腸骨と坐骨で囲まれた腔をいい、さらにこれは分界線によって大骨盤と小骨盤とに区分される。分界線は岬角（第5腰椎と仙骨の結合部）、腸骨の弓状線、恥骨櫛および恥骨結合の上縁を結ぶ線である。

38) 子宮： 子宮は女性の骨盤腔のほぼ中央にあって、膀胱と直腸の間に位置する。妊娠時には受精卵を養育する中空性の内生殖器である。

39) 膣： 膣は、その上方で子宮頸につながり、下方は膣口を開く管状器官である。

◇ 膀胱三角

【解剖学】

膀胱下部の膀胱底は、頂点を下に向けた三角形をなす。この三角形の角にあたる部位に、2本の尿管と1本の尿道の開口部がある。これを膀胱三角⁴⁰⁾という。

1. 尿管口

膀胱後下面で膀胱三角の上縁両側には、腎盤(腎盂)からの2本の尿管が膀胱後壁をつらぬく。この尿管の開口部を尿管口⁴¹⁾といい、腎臓で生成された尿はここから膀胱に流入する。

なお尿管が膀胱後壁をつらぬく部位は尿管の三大狭窄部^[p.363]のひとつである。

2. 内尿道口

膀胱下面で膀胱三角の下部頂点からは、1本の尿道がでる。この部位を内尿道口といい、膀胱にためられた尿はここから尿道をかいして体外に排出される。

◇ 膀胱壁の構造

【解剖学】

膀胱壁は3層の平滑筋からなり、その内面は粘膜上皮におおわれている。

1. 膀胱の粘膜上皮

膀胱壁は、内腔にたまる尿量が増えると壁は薄くなって膀胱容積が大きくなる。膀胱の粘膜上皮は、膀胱内腔の容積の変化に応じて細胞層の厚さが変化する移行上皮^[p.36]で構成される。

2. 膀胱の平滑筋

a. 膀胱平滑筋 (排尿筋)

膀胱平滑筋は、膀胱壁全体にある3層(内縦・中輪・外縦)の平滑筋からなる。膀胱平滑筋は、これが収縮すると膀胱内圧が上昇して排尿にはたらくこ

40) 膀胱三角：膀胱が空虚のとき、膀胱体部の粘膜には多数のひだがみられるが、膀胱三角の粘膜は他の部分にくらべて固く、膀胱内が空虚であるときでも粘膜にひだがなく平坦である。このように膀胱三角の領域は、膀胱内の内にたまる尿量によって面積が変化することはない。なお膀胱三角は膀胱腫瘍および結核の好発部位となる。

41) 尿管口：正常な尿管口は裂隙状にせまく、かつ膀胱平滑筋があるため、膀胱内の尿が尿管や腎に逆流することはない。しかし下部尿路通過障害や神経因性膀胱、先天的形態異常があると、ここで尿の逆流がおこることがあり、これを膀胱尿管逆流現象という。これは腎盂腎炎をきたす原因のひとつとなる。

とから**排尿筋**ともよばれる。

b. 内尿道括約筋（膀胱括約筋）

内尿道口周囲の膀胱壁には、**内尿道括約筋**⁴²⁾とよばれる**平滑筋**がある。**内尿道括約筋**は、**膀胱の出口部にあたる内尿道口を輪状にとりまくこと**から、**膀胱括約筋**ともよばれる。これが弛緩すると内尿道口が開いて排尿にはたらく。

尿道

尿道

◇ 尿道とは

【解剖学】

尿道は、尿を膀胱から体外に運びだす管である。**膀胱三角の下部頂点にある内尿道口**から1本の尿道としてでて、**尿生殖隔膜**⁴³⁾をつらぬいて体外にひらく。**尿道の末端部で尿の体外への排泄口を外尿道口**という

◇ 尿道の男女差

【解剖学】

尿道の走行には大きな男女差⁴⁴⁾があり、**女性では短く(3~4cm)、男性では長い**⁴⁵⁾(全長17cm)。

1. 女性の尿道の特徴

・ **女性の尿道は腔の前方を走行し、外尿道口は腔前庭**⁴⁶⁾**に開く**。腔前庭の

- 42) 内尿道括約筋： 従来、内尿道括約筋(膀胱括約筋)は膀胱の筋層の中輪走筋がつくる輪状筋といわれてきたが、実際はこのような輪走筋の存在は明らかでない。現在は、排尿時には3層の膀胱平滑筋が協調して内尿道口の開閉にあずかっていると考えられている。
- 43) 尿生殖隔膜： 尿生殖隔膜は深会陰横筋、尿道括約筋などからなり、骨盤下口をおおい骨盤底をふさぐ筋膜である。男性では尿道が、女性では尿道と腔がこれをつらぬく。
- 44) 男女差：男性の尿道は長く、前立腺にかこまれ、また比較的強力な外尿道括約筋をこつ。このため男性は尿道抵抗が強く、尿が漏れにくい構造になっているが、尿の排出障害をおこす因子を多くもつ。いっぽう女性は、尿道が短く、膀胱からまっすぐ下の方向に走る。また前立腺がなく、外尿道括約筋の筋力も弱い。このため女性には尿の排出障害はおこりにくいが、膀胱下垂をおこしやすく、尿が漏れやすい構造になっている。
- 45) 尿道は男性では長い： 男性の尿道は、陰茎を通過するために長い。
- 46) 腔前庭： 腔前庭は左右の小陰唇間の裂溝部である。腔前庭の前方は陰核で、また後方は陰唇小帯で境される。腔前庭の中央部に腔口があり、その前方に外尿道口が開く。

中央部に腔口が開き、**外尿道口は腔口の前方に位置する。**

2. 男性の尿道の特徴

- **男性のみにある前立腺⁴⁷⁾**は、膀胱の前下部で直腸膨大部の前面にあり、尿道の起始部を取りかこむ。このため**男性の尿道は前立腺をつらぬく。**
- **男性の尿道には前立腺の導管や、男性生殖器である尿道球腺⁴⁸⁾、精巢上体⁴⁹⁾からのびる精管⁵⁰⁾につづく射精管⁵¹⁾が開口している。**
- **男性の尿道は尿道海綿体⁵²⁾の中を走行し、外尿道口は陰茎亀頭⁵³⁾に開く。**

◇ 外尿道括約筋

【解剖学】

尿道が尿生殖隔膜をつらぬく部分には、尿道をかこむ外尿道括約筋(尿道括約筋)がある。これは骨格筋(随意筋)であり、陰部神経(仙骨神経叢)にふくまれる体性運動神経の支配をうける。その随意的な収縮は排尿を抑止(蓄尿)する。

◇ 尿道腺

【解剖学】

尿道腺は尿道に開く小粘膜腺で、尿道の内壁をうるおす粘液を分泌する。

尿道腺は男女ともにある⁵⁴⁾。

-
- 47) 前立腺： 前立腺は男性のみにある器官で、膀胱の前下部で直腸膨大部の前面にあり、栗の実のような形状をなす。前立腺は線維性の皮膜に包まれ、尿道の起始部を取りかこんでいる。その内部には放射状に管状腺がならび、ここから前立腺液を分泌する。
- 48) 尿道球腺： 尿道球腺(カウパー腺)は、尿道海綿体の後端にある膨大部(尿道球)の両側に接して、尿生殖隔膜中にあるエンドウ豆大の球状の腺である。その導管は前方にむかい、尿道海綿体の中を走行して尿道の後壁に開く。アルカリ性で粘稠性の液体を分泌する。
- 49) 精巢上体： 精巢上体(副睾丸)は、精巢の上端から後縁にかけて付着している細長い器官である。その内部は、曲がりくねった1本の精巢上体管で満たされる。精巣でつくられた精子は、精巢上体管にはいりここで貯蔵される。精巢上体にある精巢上体管は、まっすぐにすると全長6m以上におよび、ここには最大10億個の精子が貯蔵できると考えられている。精巣でつくられた精子は、精巢上体管から精管に移行する。
- 50) 精管： 精管(輸精管)は、精巣でつくられ精巢上体にたくわえられた精子を射精管まで運ぶ直径約3mm、長さ40～50cmの細長い管である。
- 51) 射精管： 射精管は射精時に精液が通過する長さ約2cmの管である。精巣でつくられ精巢上体にたくわえられた精子を運ぶ精管の遠位部にある。射精管は前立腺の内部をつらぬき尿道に開く。
- 52) 尿道海綿体： 尿道海綿体は、陰茎の腹側にある細長い棒状の海綿体組織である。尿道海綿体はその全長にわたって尿道につらぬかれている。
- 53) 陰茎亀頭： 陰茎亀頭は陰茎の先端部の深い笠状の部位である。その先端部分に尿道の外尿道口が矢状方向の裂隙として開口する。陰茎亀頭は尿道海綿体の遠位端部が笠状に膨隆してできており、陰茎海綿体の遠位端をおおっている。
- 54) 尿道腺： 尿道腺は男性では尿道(海綿体部)の遠位部に多くあるが、女性ではあまり発達していない。

蓄尿と排尿

蓄尿・排尿とは

◇ 蓄尿・排尿とは

【生理学】

蓄尿^{ちくによ}とは、腎臓でつくられた尿が尿管を介して膀胱に流入し、膀胱内に一定量の尿が貯留することで尿意を感じ、これを排出するまでの過程をいう。

排尿⁵⁵⁾とは、膀胱内にたまった尿が、尿道をとって体外に排出される過程をいう。

◇ 排尿反射

【生理学】

膀胱における蓄尿は、自律神経系による反射で不随意的におこなわれる。いっぽう膀胱からの尿の排出は、自律神経系による反射に随意筋のはたらきがくわわっておこなわれる。これら**排尿と蓄尿にかかわる一連の反射を排尿反射** [p.503]という。

1. 排尿反射の受容器と求心路

排尿反射の受容器は、膀胱壁の伸展受容器であり、その**求心路は骨盤神経**である。

2. 排尿反射の中枢

排尿中枢は**腰仙髄**と、これを上位で制御する**橋**(排尿調節中枢) [p.349]にある。

3. 排尿反射の遠心路と効果器

排尿反射の遠心路と効果器は、以下の末梢神経で構成される。

a. 自律神経

- **交感神経(下腹神経)** ----- この活動亢進は、**膀胱平滑筋(排尿筋)弛緩、内尿道括約筋(膀胱括約筋)収縮**に作用し、**蓄尿** [p.369]にはた

55) 排尿：健康成人の1回の排尿量は約250～300mlで、排尿時間は約20秒以内であり、最大尿流率は15ml/秒以上である。また排尿回数は、昼間には約7～8回、夜間には0～2回である。

らく。

- **副交感神経(骨盤神経)** -----この活動亢進は、**膀胱平滑筋(排尿筋)収縮、内尿道括約筋(膀胱括約筋)弛緩**に作用し、**排尿** [p.370]にはたらく。

b. 体性運動神経

- **陰部神経**-----骨格筋である**外尿道括約筋(尿道括約筋)**は、収縮することで蓄尿に、弛緩することで排尿にはたらく。

蓄尿

◇ 蓄尿

【生理学】

通常、膀胱内に尿が200～300ml貯留するまでの間は、以下のメカニズムがはたらいて蓄尿がおこなわれる。

1. 膀胱平滑筋（排尿筋）

膀胱平滑筋(排尿筋) [p.365]は膀胱壁を構成する平滑筋である。**蓄尿時、腰髄からでる下腹神経をとる交感神経の活動亢進は、膀胱平滑筋(排尿筋)を弛緩させ、膀胱内圧を急激に上昇させることなく尿を膀胱内に貯留させる。**

2. 内尿道括約筋（膀胱括約筋）

内尿道括約筋(膀胱括約筋) [p.366]は、膀胱の内尿道口にあってこれを囲む平滑筋である。**蓄尿時、腰髄からでる下腹神経をとる交感神経の活動亢進は、内尿道括約筋(膀胱括約筋)を収縮させ、尿が膀胱から尿道へ流出することを抑止⁵⁶⁾する。**

3. 外尿道括約筋（尿道括約筋）

外尿道括約筋(尿道括約筋) [p.367]は、尿道が尿生殖隔膜をつらぬく部分にあって、尿道を輪状にとりかこむ骨格筋である。

蓄尿時、陰部神経に支配される外尿道括約筋(尿道括約筋)は収縮して、尿が膀胱から尿道へ流出することを抑止する。

56) 尿が膀胱から尿道へ流出することを抑止： 従来、内尿道括約筋(膀胱括約筋)は尿が膀胱から尿道へ流出することを抑止することに働いているとされてきたが、現在、この機能は膀胱平滑筋の3層の筋が協調して行っていると考えられている。

排尿

◇ 尿意

【生理学】

通常、膀胱内に尿が200～300ml貯留すると、膀胱内圧が上昇して膀胱壁にある伸展受容器が興奮する。その求心性情報は骨盤神経をとって排尿中枢から大脳に送られて、尿意⁵⁷⁾をもよおす。

◇ 随意的な排尿の抑止

【生理学】

通常は尿意を感じても、膀胱内の尿量が限界(最大尿量)に達するまでであれば、随意的に尿の排出をがまんすることができる。この**排尿の随意的な抑止は、陰部神経(仙骨神経叢)にふくまれる体性運動神経の支配をうける外尿道括約筋(尿道括約筋)を、随意的に収縮させることによる。**

◇ 排尿

【生理学】

排尿⁵⁸⁾時には、以下のメカニズムがはたらく。

1. 膀胱平滑筋 (排尿筋)

排尿時、仙髄からでる骨盤神経をとる副交感神経の活動亢進は、膀胱平滑筋(排尿筋) [p.365]を収縮させる。これによって膀胱内圧は急激に上昇し、膀胱内の尿は内尿道口から尿道へ排出される。

2. 内尿道括約筋 (膀胱括約筋)

排尿時、仙髄からでる骨盤神経をとる副交感神経の活動亢進は、内尿道括約筋(膀胱括約筋) [p.366]を弛緩させ、尿は膀胱から尿道へ流出する。

3. 外尿道括約筋 (尿道括約筋)

排尿時には、外尿道括約筋(尿道括約筋) [p.367]を随意的に弛緩させる。

57) 尿意： 通常、尿意は断続的に強くなったり弱くなったりしながら徐々に強くなっていく。始めに感じる軽い尿意を初発尿意といい、膀胱の尿容量が最大限になったときの尿意を最大尿意という。成人では初発尿意がおこるときの膀胱内の尿量は200ml前後で、最大尿意のときは600ml程度である。ただし乳幼児は膀胱が小さく、かつ初発尿意と最大尿意の尿量の差が小さい。さらに乳幼児期には、随意筋である街尿道括約筋のコントロールも未熟である。このため、乳幼児期には初発尿意の段階で尿意がかなり切迫しており、その後尿失禁をみることが多い。

58) 通常排尿は、膀胱内が空虚となるまで持続する。排尿メカニズムが何らかの原因で障害されると、膀胱内が空虚になるまで排尿がつづかず、排尿終了後に膀胱内に尿が残留することがある。これを残尿といい、これは尿路感染症の原因のひとつになる。

尿が膀胱から尿道へ流出することを抑止する。これによって膀胱内の尿は、外尿道口から体外に排泄される。

■ 排尿と蓄尿の自律神経支配

	交感神経系	副交感神経系
	↓下腹神経	↓骨盤神経
	蓄尿	排尿
膀胱平滑筋 (排尿筋)	弛緩	収縮
内尿道括約筋 (膀胱括約筋)	収縮	弛緩

■ 排尿と蓄尿の体性神経支配

	陰部神経	
	↓興奮	↓興奮低下
	蓄尿	排尿
外尿道括約筋 (尿道括約筋)	収縮	弛緩

