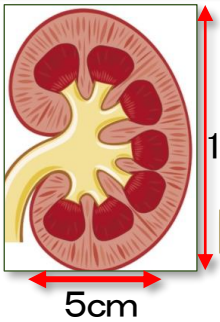
腎臓について勉強してみよう！

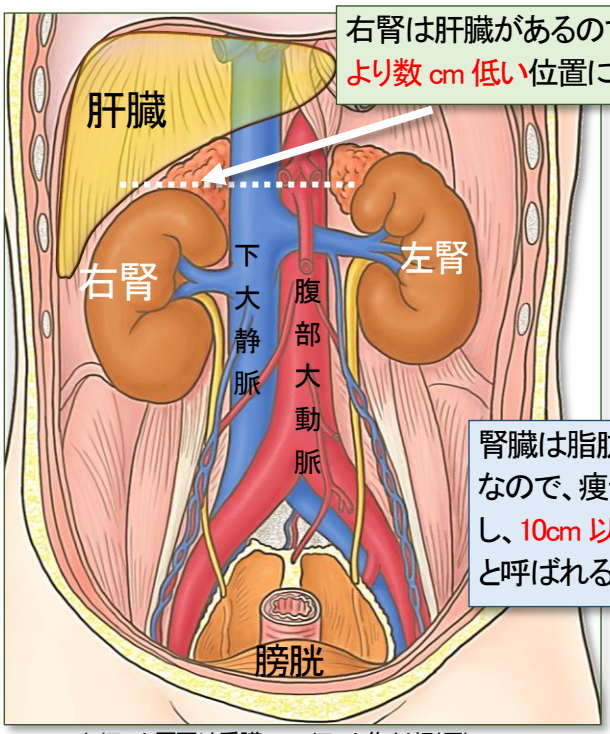
No1
2021 年 7 月 内科 大塚

腎臓は沢山の機能を持つ。
1）尿素窒素、クレアチニン、尿酸などの老廃物を排泄
2）ナトリウムやカリウム、カルシウムやリンなど電解質の調節
3）水分調節
4）赤血球を産生するエリスロポエチンというホルモン分泌
5）骨の代謝に必要なビタミンD（活性型ビタミンD3）の産生
6）血圧を上昇させるレニンというホルモン産生
7）血液がアルカリや酸性に傾きすぎないように調節（血液のPHを 7.4 に保つ）などである。



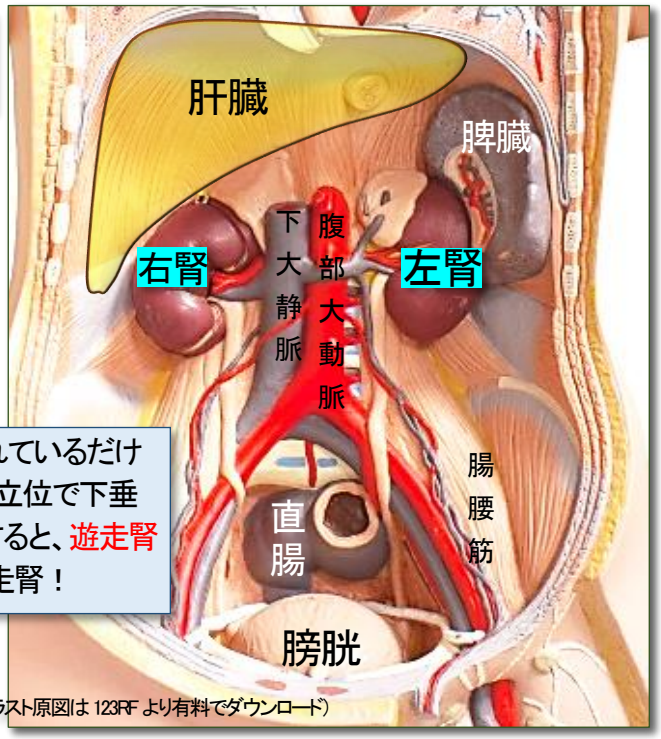
腎臓は幅約 5cm、長さ約 10cm

腎臓 1 個の重さは約 100g



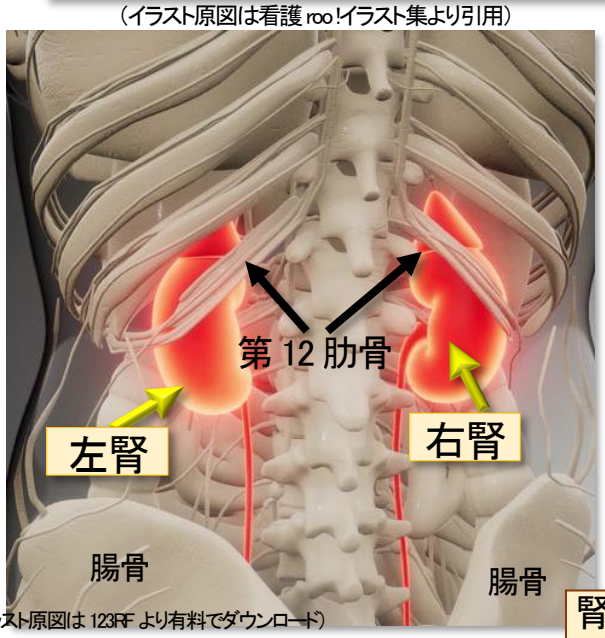
右腎は肝臓があるので、左腎より数 cm 低い位置にある。

（イラスト原図は看護 roo!イラスト集より引用）



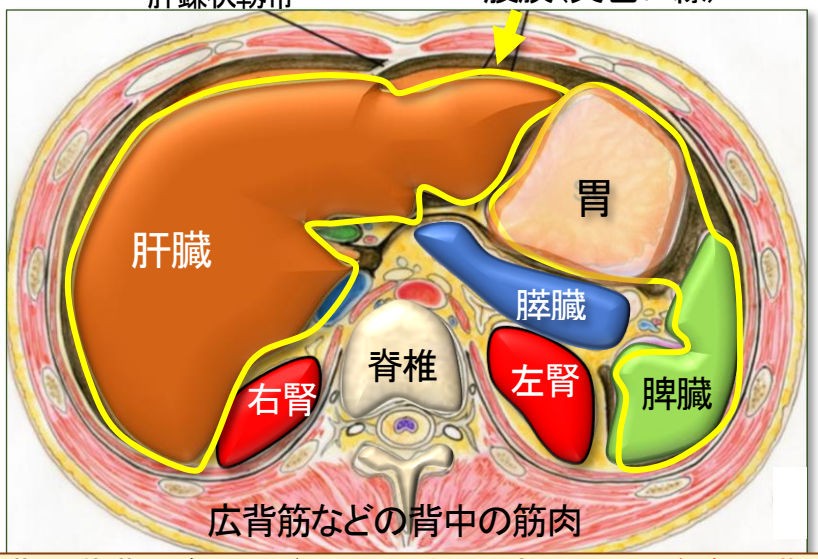
（イラスト原図は 123RF より有料でダウンロード）

腎臓は脂肪に囲まれているだけなので、痩せた人は立位で下垂し、10cm 以上下垂すると、遊走腎と呼ばれる。私も遊走腎！



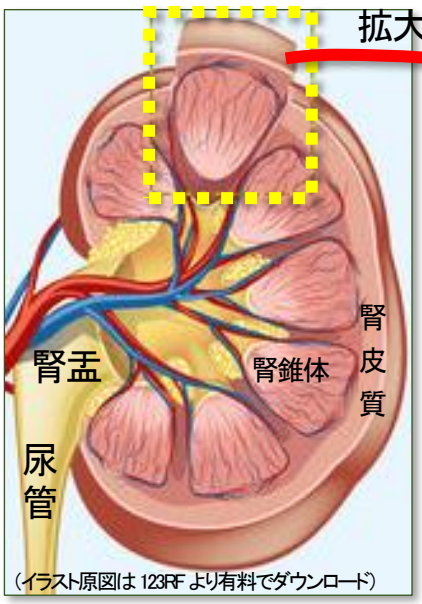
（イラスト原図は 123RF より有料でダウンロード）

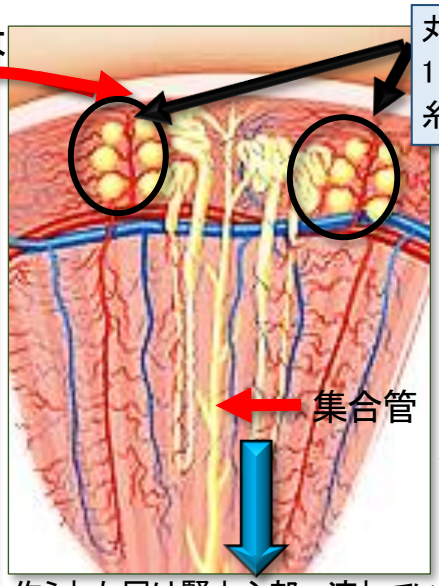
背中側からみた腎臓



腎臓や膵臓は腹膜の後ろ（背中側）にあるので、後腹膜臓器と呼ばれる。

腎臓は老廃物をどのように濾過しているのか？

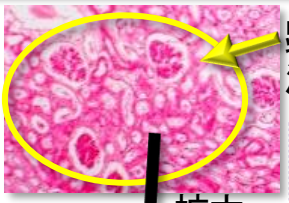




作られた尿は腎中心部へ流れていく

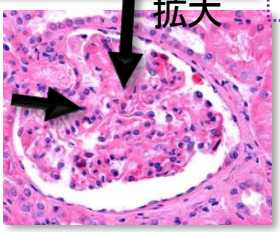
しきゅうたい

丸い玉は糸球体という濾過装置である。
1 個の腎臓に約 100 万個もある。
糸球体はボウマン嚢という袋の中にある。



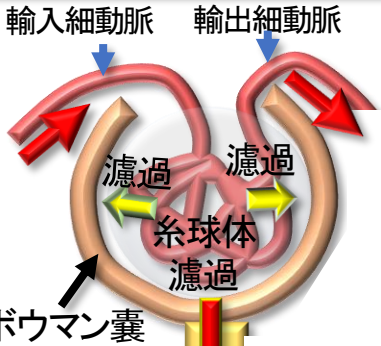
顕微鏡写真
沢山の糸球体がある

毛糸の球に似ているので糸球体と命名された



糸球体 1 個の大きさは約 0.2mm

糸球体の中を動脈血が流れて行く間に血液は濾過されて尿の素（原尿）が出来る



尿細管 → 原尿

Na やKは尿細管から血管に再吸収されたり、血管から再分泌される。

Na ⇄ Na
K ⇄ K

クレアチニンは尿細管から再吸収されない。
血管からわずかに分泌。

クレアチニン ✗ ⇄ クレアチニン

老廃物の1つのクレアチニンとは何？→クレアチンの代謝産物

クレアチン

クレアチンリン酸

クレアチンは主に肝臓で合成される。
アミノ酸のグリシンとアルギニン、メチオニンから合成されるが、クレアチンの 95%は筋肉に存在する。
クレアチンはクレアチンリン酸（貯蔵型エネルギー）として、筋肉に貯蔵されている。

クレアチンリン酸（エネルギーを持つ）

ATP 産生 ← クレアチンリン酸はクレアチンに変化する時に ATP を産生する。ATP は筋肉のエネルギーとして利用される。

クレアチン

クレアチニン ← クレアチンの代謝産物がクレアチニン

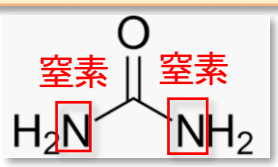
クレアチニンは糸球体で濾過された後、尿細管から再吸収されない。
クレアチニンは尿細管へわずかに分泌されるだけなので、腎機能の指標となる。
（クレアチニンは糸球体のろ過率が約 50%に低下した時に初めて異常値を示す事に注意が必要。）

血中尿素窒素 BUN（Blood Urea Nitrogen）とは？

尿素　窒素

食事の蛋白や体細胞が分解されてアミノ酸→アンモニア（NH3）が産生

肝臓でアンモニアは尿素（N2CH4O）となる。



尿素

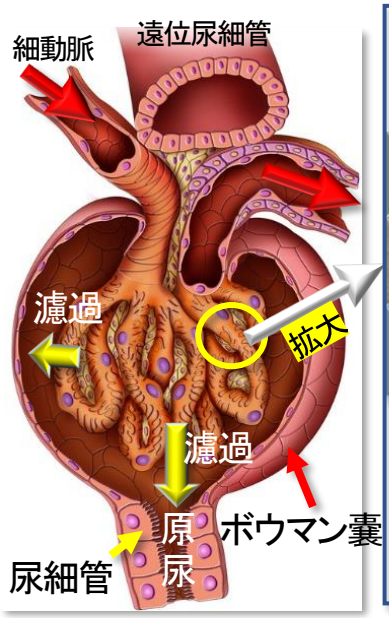
尿素窒素は濾過されて、尿細管で再吸収されるため、クレアチニンに比べて、他因子の影響を受けやすい。

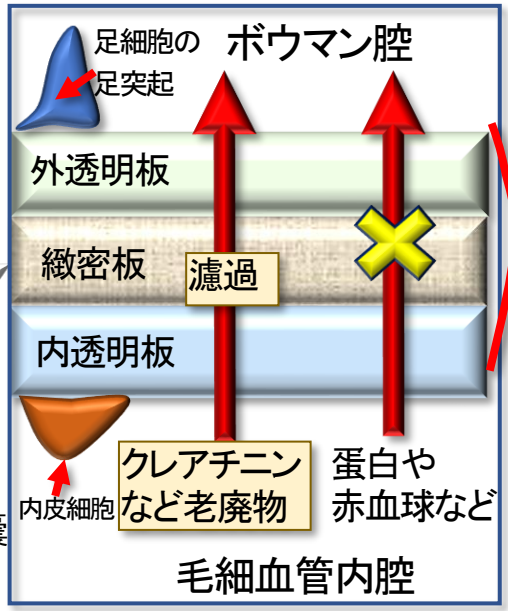
尿素は測定できないので、尿素に含まれる血中の尿素の窒素を測定している。

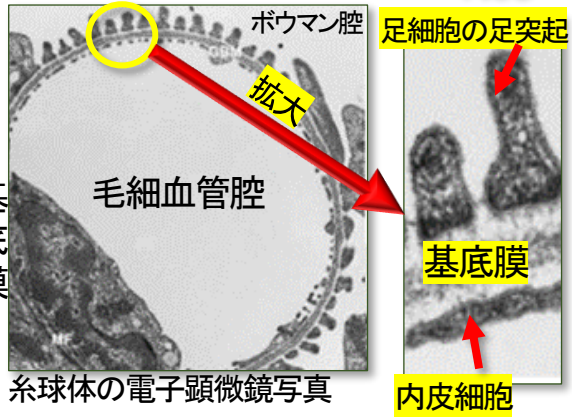
血中尿素窒素はクレアチニンの約10倍の値だが、脱水などでは尿素窒素が増加してクレアチニン値の 10 倍以上になる。
その他、蛋白質の大量摂取や消化管出血でも血中尿素窒素は増加する。

糸球体の毛細血管壁は精密な3層構造のフィルターで老廃物を濾過している！

No3







糸球体の電子顕微鏡写真

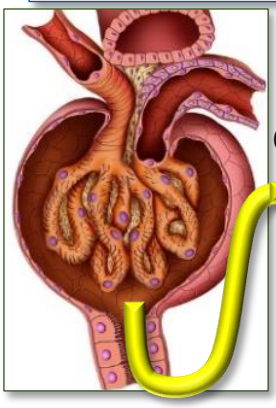
腎炎で基底膜などのフィルターが破壊されると蛋白や赤血球が尿に漏れる。糸球体は破壊されると、肝臓のように再生しない。腎臓を大事に！

健診結果にクレアチニンと一緒に記載されているeGFRとは？

eGFR(estimated Glomerular Filtration Rate)=推算糸球体濾過量

（推測する 糸球体 濾過 割合）

クレアチニンは筋肉にあるクレアチン量による影響を受ける。男性が筋肉量が多く、高齢者は筋肉量が減少する。eGFRはクレアチニン値に性別、年齢などで補正して計算され、1分間の糸球体で濾過される原尿の量を示す。

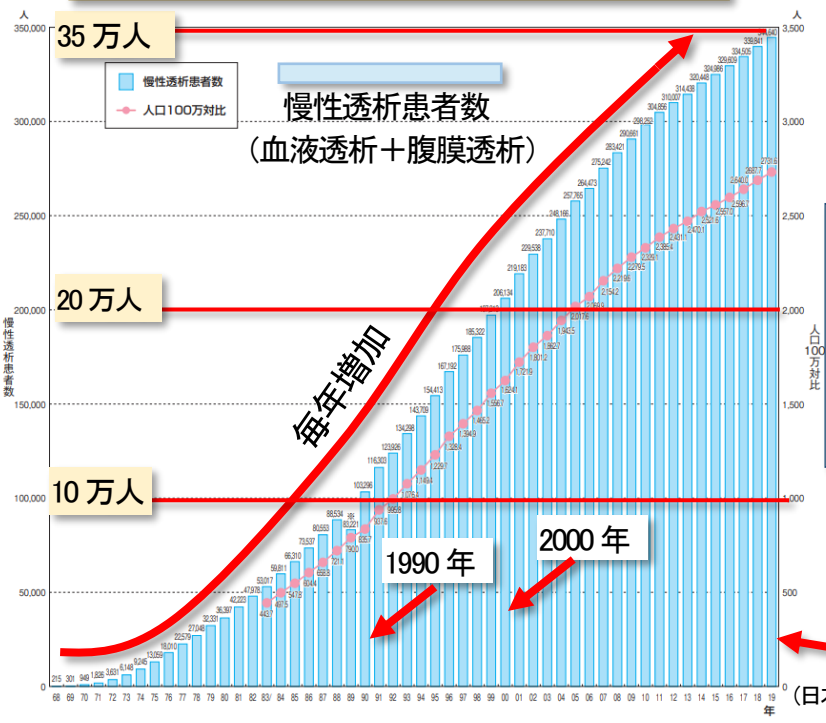


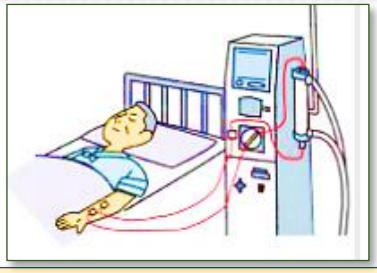
原尿
（糸球体濾過量）

2個の腎臓の約200万個の糸球体で1分間に約100mℓの原尿が作られる。
1分間の糸球体濾過量は約100mℓという事になる。
24時間では約150ℓもの原尿が作られるが、尿細管で原尿の約99%が体内に再吸収されるため、1日尿量は約1.5ℓとなる。

健診ではeGFR(推算糸球体濾過量)が90ml/分あれば正常範囲としている。
1分間に90mlの原尿ができていれば、正常範囲という意味である。

慢性透析患者数は毎年増加している





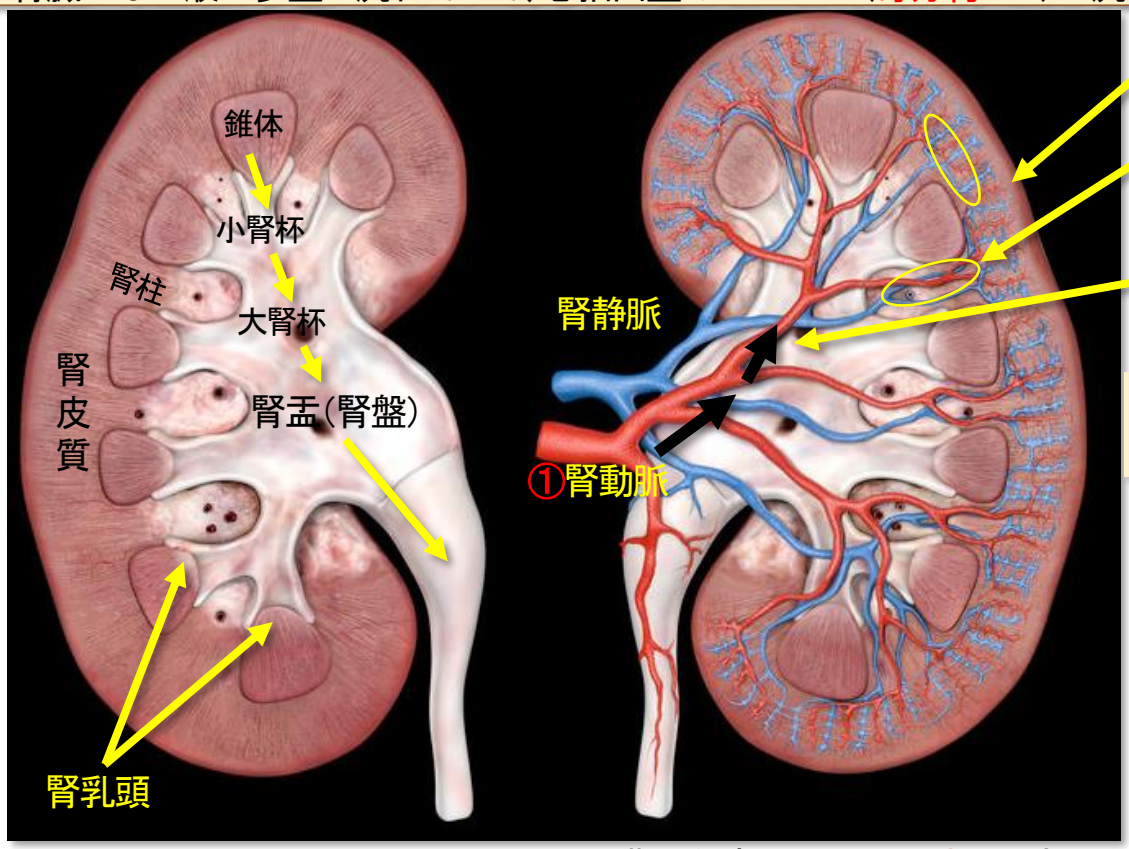
2019年12月31日現在の慢性透析（血液透析＋腹膜透析）療法患者数は約34万5千人。
（1990年は約10万人だった）
宮崎県内65施設調査では、県内で約4,000人が透析を受けている。
（日本透析医学会HP 我が国の慢性透析療法の現況より引用）

透析の原因で最も多いのは糖尿病で約40%。

（日本透析医学会HPの図1慢性透析患者数と有病率の推移より改変引用）

掲示板掲載は No3 迄とし、これ以降は医療従事者のために記載する。

腎臓には血液が多量に流れていて、心拍出量の 20～25%（毎分約 1.2ℓ）が流れ込んでいる。



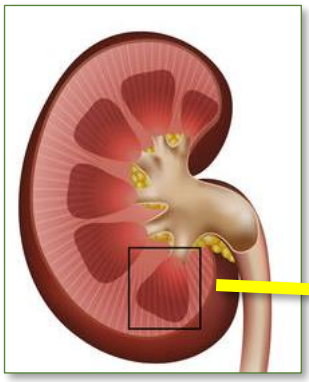
腎動静脈は通常5本の区域動静脈に分岐する

①腎動脈は
→②区域動脈
→③葉間動脈
→④弓状動脈
へと流れていく。

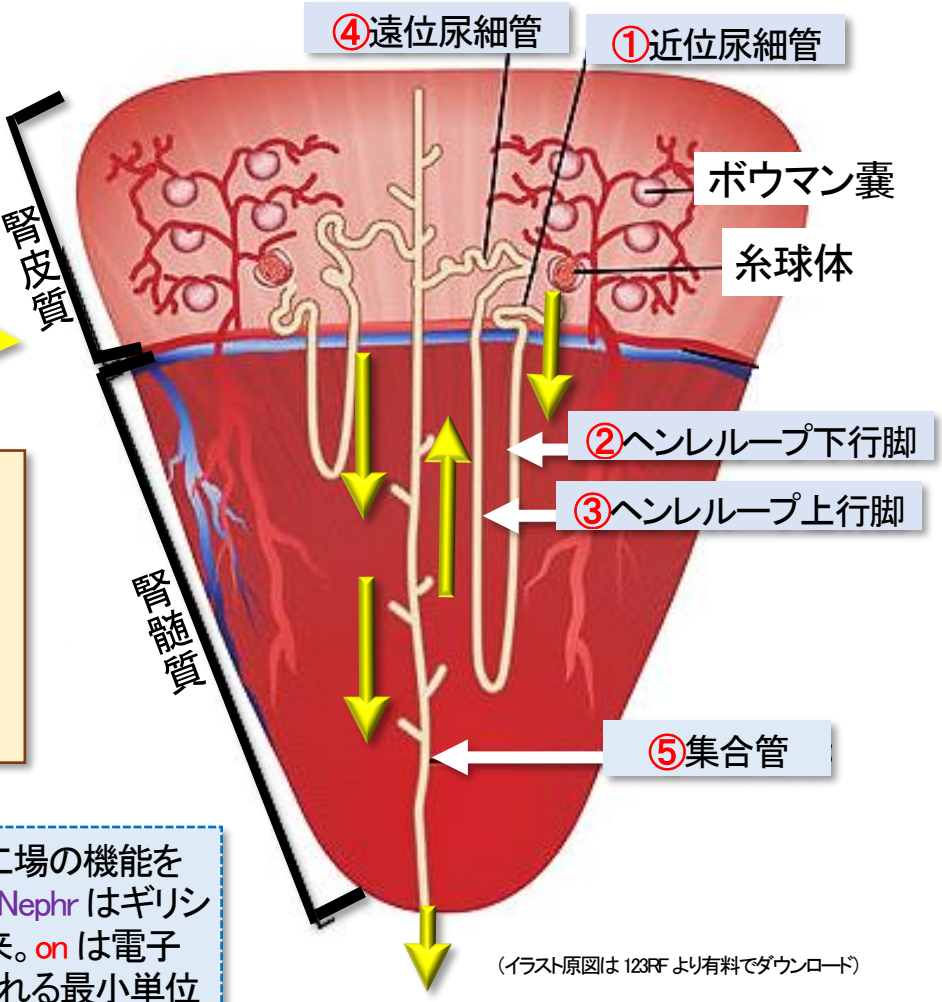
（イラスト原図は 123RF より有料でダウンロード）

（腎臓の血液の 90%は腎皮質にある）

腎臓の糸球体で作られる尿の流れ



拡大



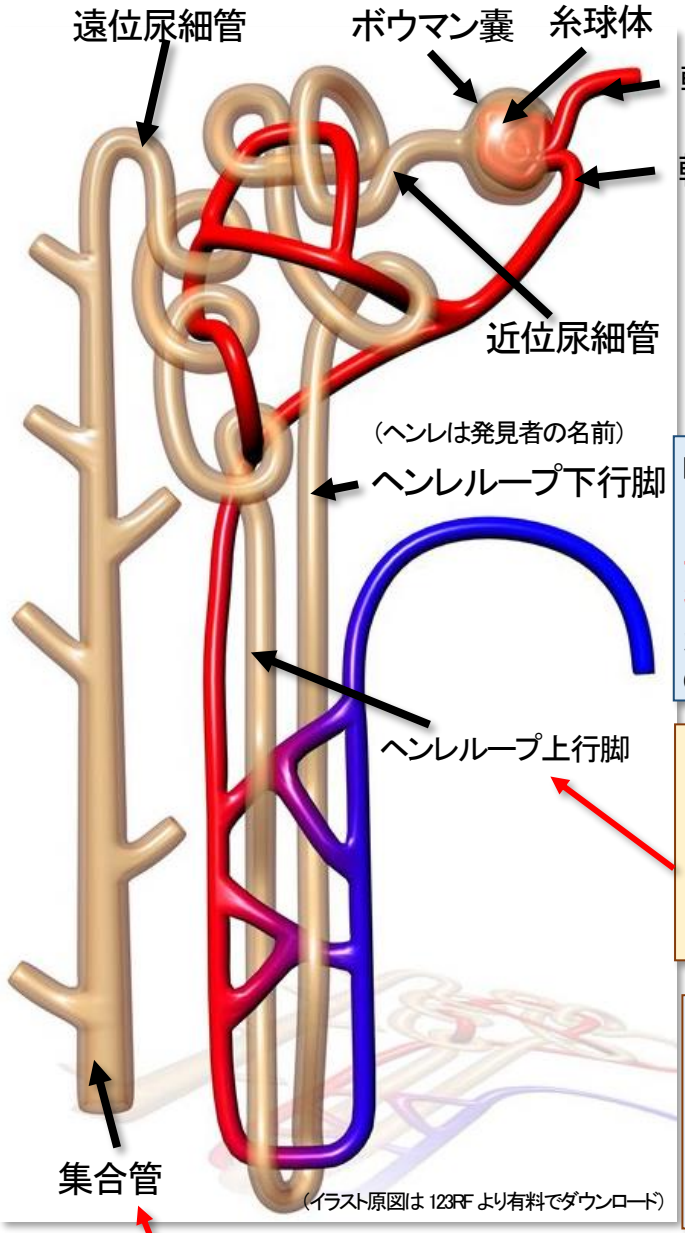
糸球体で作られた尿は

①近位尿細管
→②ヘンレループ下行脚
→③ヘンレループ上行脚
→④遠位尿細管
→⑤集合管へ到達する。

糸球体や尿細管など、尿を作る濾過工場の機能をネフロン（Nephron）と呼ぶ。Nephron の Nephr はギリシャ語の腎臓を意味する Nephros に由来。on は電子（electron）や光子（photon）などに使用される最小単位という意味。

（イラスト原図は 123RF より有料でダウンロード）

前頁で尿の流れを説明した。実際には下図のように尿細管の周囲を血管が並走していて、尿細管と血管の間で物質の再吸収や再分泌が行われる。例えば、ブドウ糖は糸球体で濾過されて尿細管へ流れていくが、100%が血管に再吸収されるため、正常では尿に糖は出ない。



分子量 7 万以上の高蛋白は糸球体の間隙孔を通過できない。アルブミンは分子量約 6 万 6 千で、正常では 30mg 程度しか尿に漏れない。

近位尿細管～集合管まで尿が流れていく間に血管は物質の再吸収や分泌を行う。
水分は約 150ℓが濾過されるが、約 99%は血管に再吸収される。
糖は約 160gが濾過されるが、100%血管に再吸収される。

PH を 7.4 に保つために腎臓は
1）血液の水素イオン（H^+）を尿細管に分泌している。
2）原尿の重炭酸イオン（$HCO3^-$）を血管に再吸収している。
3）尿細管に分泌された水素イオン（H^+）と重炭酸イオン（$HCO3^-$）から尿細管で炭酸（H_2CO_3）が合成されるが、炭酸（H_2CO_3）は H_2O と CO_2 に分解される。CO_2 は血管に吸収される。

Na や K は 100%が糸球体で濾過されるが、近位尿細管での再吸収が最も多く約 70%である。ラシックス（フロセミド）などのループ利尿薬は、ヘンレループ上行脚の Na 再吸収を抑制して利尿効果を示す。尿の Na が増加する→尿浸透圧が亢進→体内の水分が尿に移動する、という事で利尿作用を示す。難しい？

末期腎不全（GFR30ml以下）では何故、高 K 血症が起こる？
GER(糸球体濾過量）の 30ml 以下は慢性腎障害（CKD;Chronic Kidney Disease）のステージ 4 に相当する。
K の多くは遠位尿細管や集合管などから尿に分泌される。これらの部位が障害される事で K が尿中に排泄されずに高 K となる。

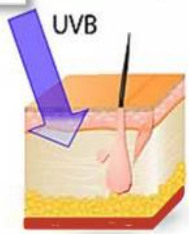
下垂体後葉から分泌される抗利尿ホルモン(ADH Anti Diuretic Hormone)は、集合管付近に作用して水分を吸収する

腎不全でカルシウム吸収が低下→骨がもろくなる理由は？

カルシウム吸収に必要な活性型ビタミン D3 が産生されない事などが原因。

活性型ビタミン D3 が合成されるまでの過程を以下のイラストで示す。

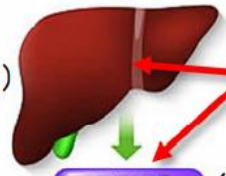
① 紫外線（特に UVB）が皮膚のデヒドロコレステロールに作用してビタミン D3 が合成



PreD3（7-デヒドロコレステロール）→ D3（コレカルシフェロール;ビタミン D3）

②食物からもビタミン D3 を摂取

キノコなどはビタミン D2 が多く、D3 は脂分の多い魚や魚の肝臓などに多い。
D3の方が活性が高い。



（肝臓で水酸化される）

③肝臓で 25（OH）D3；25-ヒドロキシコレカルシフェロール へ変換される

活性型ビタミンD3の前駆物質

25(OH)D3（25-ヒドロキシコレカルシフェロール）

腎不全では
活性型ビタミンD3産生が低下！

④更に腎臓でも水酸化され
最終的に活性型ビタミン D3
；1, 25-(OH)2D3となる。

1,25(OH)2D3（活性型ビタミン D3）

⑤活性型ビタミン D3 は小腸からのカルシウム吸収を促進する。

カルシウム吸収の増加

腎不全では腸管からの
カルシウム吸収が低下

活性型ビタミンD3 はリン（P）の吸収も増加させる

（イラスト原図は 123RF より有料でダウンロード）

血中カルシウム低下

血清 Ca8.5mg/dℓ以下は
低 Ca 血症

血液の Ca が足りないから
骨の Ca をもらうよ！

副甲状腺ホルモン分泌↑
骨のカルシウムを血中へ放出
させる→骨がもろくなる

Ca(カルシウム)

副甲状腺は、甲状腺の裏側に4つある。

副甲状腺ホルモンは腎臓の尿細管にも作用してカルシウムの再吸収を促進し、リンの再吸収を抑制する。

低カルシウム血症では
テタニー（筋肉の硬直、
恐縮や痙攣）が起こる事
がある。血圧を測定する
ときに指が拘縮するのを
〇〇徴候と呼ぶ。
看護師の皆さんは習っ
た筈。覚えてる？
ネットで調べて見て！

低カルシウム血症の治療薬として使用されるアルファロールカプセルは活性型ビタミンD3の前駆物質で、肝臓で活性型ビタミンD3へ変換されてカルシウムを吸収させる。

腎臓のどの部位でビタミンD3の活性化が行われるのか？
→尿細管でビタミンD3は活性化ビタミンD3へ変換される。

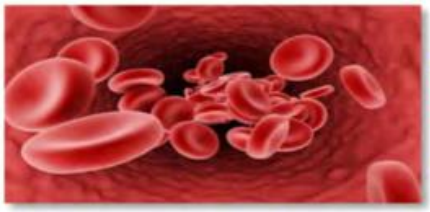
末期腎不全では、赤血球産生を促すエリスロポエチン低下により貧血が起こる。

私の自費出版本「イラストで学ぶ病気や身体の基礎知識2」の 47 頁を一部引用して貧血について解説する。

貧血の話（赤血球の作られる仕組みなども解説）

赤血球の数は体全体でどれくらいある？

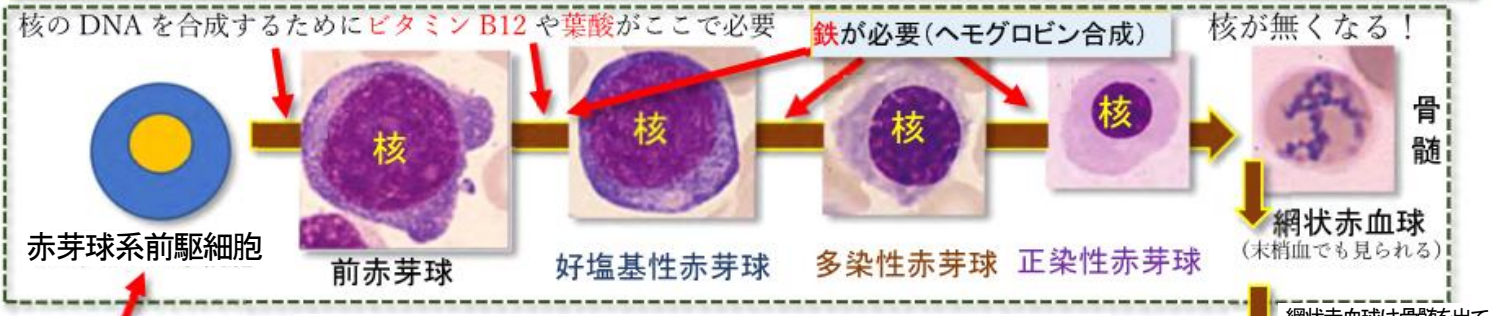
成書でやや異なるが、男の平均値は 410～550 万、女は低めに設定してあり(月経による血液喪失など)380～500 万となっている。これは血液1μ(マイクロ)ℓ当たりの数。(1 μℓ＝1mm^3)
1μは 10^{-6}(100 万分の1)なので血液 1 リットル当たり約 4～5 兆個もの赤血球がある。血液量は体重の約1/13 なので体重 60kgなら約 5 リットルあるので体全体では 20～30 兆個もの膨大な数の赤血球が毎日働いていることになる。



20～30 兆個もの赤血球が毎日酸素を体中に運搬し、不要になった炭酸ガスを肺まで運んでいる！ご苦労さんです！

（エリスロポエチンは腎臓の尿細管周囲の細胞から分泌される）

赤血球は骨髄の幹細胞から分化した赤芽球系前駆細胞が成熟していく。赤血球の生成には腎臓から分泌されるエリスロポエチン(EPO)、鉄、ビタミン B12、葉酸が必要である。



（緑の点線内が骨髄内で成熟していく赤血球を示している）

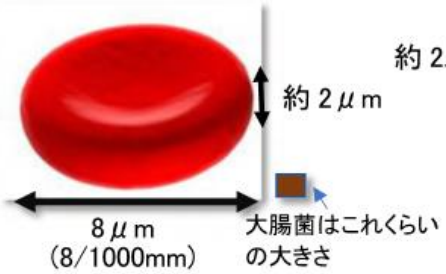
網状赤血球は骨髄を出て1～2日で赤血球となる

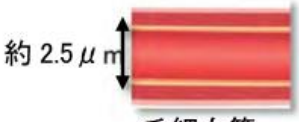
赤芽球系前駆細胞に腎臓から分泌されるエリスロポエチンなどが作用して赤血球は成熟(前赤芽球)していく。腎不全が高度になると腎性貧血となる。

前赤芽球から正染性赤芽球までは細胞質の中に大きな紫色の核がある。網状赤血球や赤血球には核が無い！

末梢血液

赤血球

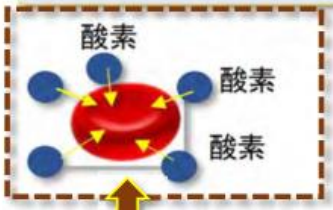




毛細血管

赤血球の大きさは直径が8μm(8/1000mm)で厚さが約 2μm。中心部がへこんでいる。大腸菌は 1μm。

毛細血管の直径は 2.5μm なので赤血球は変形して通過していく。



赤血球が何故扁平な形か？というと、酸素と触れあう表面積が大きくなるから。

赤血球の寿命は？

120 日(4ヶ月)

全部の赤血球(20～30 兆個)の1%が毎日置き換わっている。

1秒間に何と！200 万個もの赤血球が置き換わっている！

尿管結石の原因、予防、治療法

シュウ酸カルシウム結石

1）尿管結石の約 90%はカルシウム結石でシュウ酸カルシウム結石が多い。

食事で取り込まれるシュウ酸は約 70%、残りは体内合成。シュウ酸の多い食品を控える。
ほうれん草は 100g に 800mg のシュウ酸。煎茶は 100gに 1,300mg だが、お茶として飲む場合には使用量は 1/20 程度なのであまり神経質になる必要も無いが、ほうじ茶が少なくて 100g当たりに約 300mg。

飲水(2L 目標)

2）多くの尿量があった方が結石は小さい内に出やすい。

尿路結石診療ガイドラインでは、食事以外に約 2 リットルの水分摂取を推奨

運動

3）腎臓を揺さぶれば、小さい結石の内に出やすい。結石も出来にくい。

運動しよう！肥満防止にもなる。肥満が結石のリスクにもなっている。

4）尿路結石は女は男の約1/2と少ない。何故？

エストロゲンが尿路結石を出来にくくしている！エストロゲンはシュウ酸とカルシウムの結合を抑制したり、シュウ酸カルシウム結石の成長を抑制しているらしい。

（エストロゲンは、その他 HDL コレステロール増加、LDL コレステロール低下、尿酸低下作用など良い点が多い。乳癌のリスクファクターにはなる。）

（葉っぱの裏が白いので裏白（ウラジロ）樫（ガシ））

5）尿路結石を排石させる薬は無いか？

ウラジロガシ(葉っぱの裏が白い樫の木)の成分が小さな尿路結石なら排石や結石予防作用があり、医薬品（処方が必要な医薬品）としても認められていてウロカルンという薬がある。10 年前にウラジロガシのお茶を煎じて飲んだがまずかった！（ウロカルン1錠薬価約 8 円、1 日6錠×30 日＝約 1,500 円；3 割負担なら月約 500 円）

このウラジロガシの成分エキスが入った一般向けの薬もある（流石茶；さすがちゃ；錠剤）。私も飲んでみたがまずくはない（CM 料金はもらってない；笑）。（流石茶は 1 か月約 1,500 円）

6）10mm 以上の大きさの尿路結石は自然排石が期待出来にくい。（尿管結石患者の約 6 割は自然排石）

（頁に記載しているシュウ酸量は 100g 当たり）

シュウ酸カルシウム結石が尿管結石の約 80%を占める。シュウ酸含有量の多い食材を以下に示す。
尚、シュウ酸含有量は報告によっても少し異なるので 100g に含まれる大凡の数値を以下に示す。

ほうれん草（葉、茎）約 800mg

シュウ酸は水溶性。おひたしなどにするとシュウ酸含有量が半減する。

ほうれん草で無ければ取れない栄養素というのは無いので、結石経験者の私は食べないが、、。

ほうれん草は、そもそも生では余り食べないが、どうしても食べたい！という人はおひたしを更に圧迫して水分を更に抜くと良いかも。

ポパイは、ほうれん草を食べ過ぎて尿管結石かも(笑)。

タケノコ（約 650mg）

タケノコはしょっちゅう食べるものでも無いが、茹でて食べる事が多いのでシュウ酸は半減する。

ショウガ（約 500mg）

ショウガも含有量は多いが、食べる量が少ないので、神経質になる必要も無い。

バナナ（約 500mg）