

腎臓の生理 — 生命を支える制御システム —

はぎわらクリニック

萩原晋二

腎臓は、糸球体での濾過と尿細管での再吸収・分泌を通じて、体液量・電解質・酸塩基平衡を精密に調節し、生体の恒常性維持に中心的役割を果たす。本講演では、腎生理の基礎からホルモン、自律神経、マイクロ RNA に至るまで、腎機能を支える多層的制御機構を概説する。

まずネフロンの構造と機能を示し、1日約 150L 生成される原尿のうち約 99%が尿細管で再吸収され、最終的に 1~1.5L の尿として排泄される過程が、水・電解質恒常性の基盤である。体液調節の中心となるナトリウムは、体液量および血圧を規定する主要イオンであり、尿細管で再吸収と調節を受ける。ナトリウム再吸収は水の移動と連動し、静水圧差と浸透圧差によって体液分布が調節される。カリウム濃度は、細胞内外の急性シフトと集合管での腎排泄による慢性調節によって厳密に維持され、全身の機能の安定に不可欠である。

酸塩基平衡は、緩衝系・呼吸・腎臓の三段階調節によって維持される。緩衝系は血液 pH 変動を即時に抑制し、呼吸は CO₂ 排泄を介して分~時間単位で調節を行う。腎臓は、近位尿細管での HCO₃⁻ 再吸収、集合管での H⁺ 分泌と HCO₃⁻ 再生、さらにアンモニアおよびリン酸緩衝系を通じて、酸負荷に対する最終的かつ持続的な補正を担う。

自律神経系では、交感神経が腎血流、糸球体濾過、レニン分泌、ナトリウム再吸収を制御し、高血圧や慢性腎臓病の病態形成に関与する。治療的介入として腎デナベーション (RDN) や迷走神経刺激による腎保護作用が注目されており、腎兪穴 (BL23) 刺激がプロスタグランジンを通じて利尿や腎循環改善を示す可能性も報告されている。

体液調節ホルモンとして、レニン・アンジオテンシン・アルドステロン系 (RAAS)、バゾプレッシン (ADH)、プロスタグランジン/キニン系、ANP/BNP が相互に作用する。RAAS と ADH はナトリウム・水保持を促進し、ANP/BNP は体液過剰時にナトリウム利尿と血管拡張をもたらす。これらは拮抗・協調しながら、ナトリウム出納を軸とした体液量・血圧の恒常性を維持している。最後に、マイクロ RNA が腎疾患における線維化や炎症制御に関与する新たな分子機構として注目されている点に触れる。