

1

電解質①

リン異常

吉本 航¹⁾ 重松 隆²⁾

1) 和歌山県立医科大学 腎臓内科・血液浄化センター 学内助教

2) 和歌山県立医科大学 腎臓内科・血液浄化センター 教授、
和歌山県立医科大学大学院医学研究科 腎臓・体内環境調節内科学 教授、
和歌山県立医科大学附属病院 臨床工学センター長

Point **1** 生体内のリンの分布が理解できる。

Point **2** リンの調節がどのように行われているかを理解できる。

Point **3** 高リン血症の合併症の長期的な予防について理解できる。

Point **4** 低リン血症の症状、原因、治療の緊急性が理解できる。

はじめに

リンは細胞内に豊富に含まれている電解質であり、DNAやATPをはじめとしたリン酸化合物は、あらゆる代謝に深くかかわっている。またリンは、リン脂質として細胞膜や細胞内小器官の主要な構成成分となる他、蛋白質や核酸の構成要素にもなる。

ATPをはじめとした高エネルギーリン酸化合物は、生体内のエネルギー通貨として、非常に重要な役割を果たしている。リン酸化・脱リン酸化による酵素活性の調節は、生体が常に外界の環境変化に対応していくために、必要不可欠な反応である。血液中、とくに赤血球のなかでは、グルコースの中間代謝産物である2,3-ジホスホグリセレート(2,3-DPG)が、ヘモグロビンの酸素結合性を低下させることにより、末梢における酸素の放出を促す。また、リン酸イオンは血中でいくつかの価数と電離度で存在し、重炭酸系とともに酸塩基平衡を制御する主要な緩衝系として機能している。

細胞外においてリンは骨に豊富に含まれており、カルシウムとともにハイドロキシアパタイトとして生体を維持する骨格を形成し、陸上で生活するヒトを機械的に支持する、文字どおり骨格として機能している。一方、高リン血症に続発する血管の異所性石灰化は、心血管合併症および生命予後の主要なリスクファクターとして最近注目されている。

低リン血症の話題において再栄養症候群(refeeding syndrome)は、適切な診断と治療が行われるか否かによって、予後が大きく変化する緊急疾患である。研修医の皆さんも、一度くらいは血中リン濃度の検査をオーダーしたことがあるのではないだろうか。しかし、得られたリン値に対して、十分にアセスメントを行うことができただろうか？本章では、読者の皆さんがリンをはじめとした電解質異常に興味を持つ一助となるよう解説したい。

1. リンの分布 (表1・図1)

体全体のリン

リンの体内総量はおよそ600gであり、骨に約80%、軟部

表 1 リンの換算

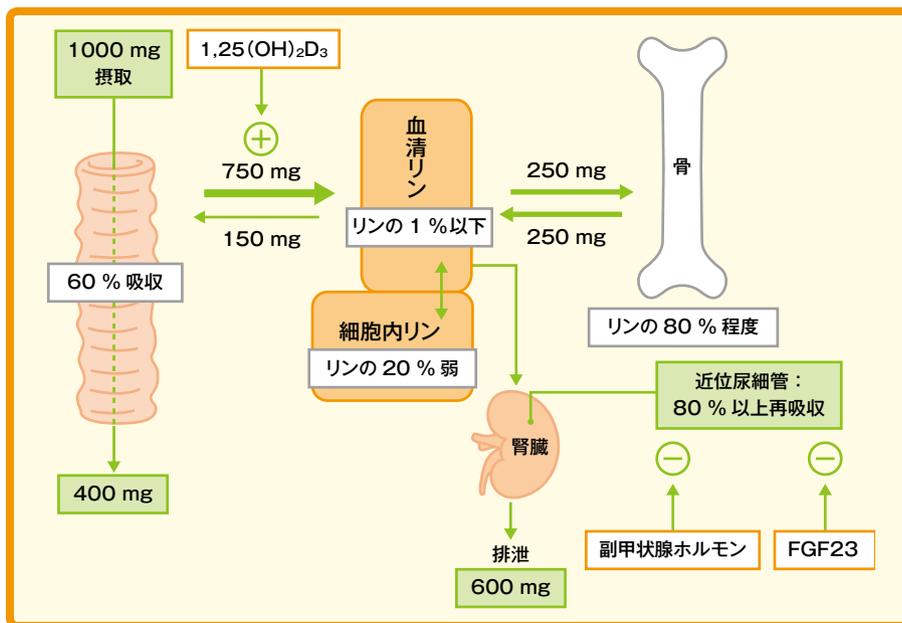
1 mmol/l = 3.1mg/dl

1 mg/dl = 0.323 mmol/l

血中リンの正常値：2.5 ~ 4.5 mg/dl

図 1 リンの体内分布と出納

リンは、骨に約80%、軟部組織に約20%、血液中に1%以下が分布している。細胞外液中のリンは、消化管、骨、腎、および軟部組織との間で動的平衡状態にある。成人男性の平均リン摂取量は約1000 mg/日であり、これは便中および尿中への排泄量の和とほぼ等しい。骨は体内でリンの貯蔵庫として働いており、細胞外液との間で出入りが調整されている。食事のリンの量は日々変化するため、腎からの排泄がリンの最も重要な調整機構である。



組織に約20%、血液中に1%以下の比率で分布している。

体内に存在するリンの多くは、ほとんどが蛋白質、脂質、糖などと結合した形で存在しており、リン脂質（細胞膜）、DNAやRNA（遺伝子）、クレアチンリン酸、ATPやcAMPなど、生命の維持にかかわる重要な化合物を構成している。赤血球においては、グルコースの中間代謝産物である2,3-DPGが多く存在し、末梢組織におけるヘモグロビンの酸素解離を促進している。

細胞外液のリン

細胞外液中に存在する無機リンは約500～600 mgであり、細胞内と比べるとごくわずかである。細胞外液中のリンは、消化管、骨、腎、および軟部組織との間で動的平衡状態にある。細胞外液中のリンは体全体のわずか0.1%と少ないため、血中リン濃度は細胞内外での移行、非経口負荷、透析による除去などによって急激に変動するが、ゆっくりとした負荷や除去では、消化管や腎の代償機構が働くために濃度はあまり変化しない。

血液中のリンの総量は約14 mg/dlで、約10 mg/dl (70%)が有機リン（リン脂質、ATP、ADPなど）、約4 mg/dl (30%)が無機リンである。臨床で一般的に測定されているのは血清無機リンであり、成人の正常値はおおよそ2.5～4.5 mg/dlである。無機リンは約15%が蛋白質と結合し、残り85%

がフリーの形で存在する。無機リンは1価 (H_2PO_4^-)、2価 (HPO_4^{2-})、3価 (PO_4^{3-})と、多数の陰電荷を持つリン酸イオンの形で存在し、これらは相互に移行する。そのうちpH 7.4の条件下では、2価のリン酸イオン (HPO_4^{2-})の形態が最も多く（約50%）、次いで1価 (H_2PO_4^-) (40%)が多い。この1価のリン酸イオンの多くは、血中でナトリウム、カルシウム、マグネシウムなどのカチオン（陽イオン）と塩を形成している。血液中の無機リン酸イオンは、重炭酸系と並んで血中のpHを一定に保つための緩衝系として機能しており、体内の酸塩基平衡を調節している。また、同様の緩衝系は腎の尿細管においても機能しており、尿細管中の HPO_4^{2-} が水素イオンを取り込み、 H_2PO_4^- に変化することによって腎臓からの水素イオンを効率よく排泄している。1日の尿中水素イオン排泄量の約50%はこのような形で排泄される。

骨中のリン

骨のリンは主にヒドロキシアパタイト ($3 [\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca} \cdot \text{OH}_2]$) として存在する。リンの交換は骨表面で行われるが、骨と血液の間の交換はカルシウムと同時に起こり、通常は骨形成と骨吸収が等しく行われている。また、骨吸収の際に骨からリンのみが選択的に遊離することはない。このため、低リン血症における骨からのリン動員は、カルシウムをはじめとした他の骨塩の喪失を伴い、長期にわたるリンの欠