

## 平成23年度 名古屋市立大学市民公開講座 血管と水道管はどう違うか ～血管のはなし～

看護学部 生理学 山本喜通

### ○講義要旨

栄養物質や酸素を末梢組織の隅々にまで運んでいる血管系は基本的に水道管と同じ円管であるが、水道管にはない特徴を持つ。その一つは血流の平滑化作用で、これは弾性を持つ太い動脈と、抵抗が高い細い動脈・細動脈が直列に繋がっている構造から生まれる。また、特に細い動脈・細動脈の直径は神経性・液性に調節され、各組織への血液配分を正確にコントロールしている。中を流れている液体にも特徴がある。血液の粘度は水より高いが、細い血管では血流のずり速度が大きくなり、粘度は低下する。また、赤血球の軸集中により管壁近傍に粘度の低い血漿層ができることも、細い血管内の血流を保つのに役立っている。血管壁最内層にある内皮細胞は単なる内張でなく、アゴニスト刺激やずり応力を受けると血管作動物質を放出して血管径を変化させる重要な働きをしている。これも水道管にはない仕組みである。これらがうまく組み合わさり、ヒトのすべての細胞に栄養が届けられている。

### 1 はじめに

栄養物質や酸素を末梢組織の隅々にまで運んでいる血管系は基本的に水道管と同じ円管であるが、血管自身が循環の原動力である血圧の調節や血液の適切な分配など特有な働き

をしていることは興味深い。さらに、水より粘度の高い血液が非常に細い毛細血管をスムーズに通過している点にも注目される。この講義では、それらの点について解説する。

### 2 循環系の構成と働き

ヒトを含む高等動物の閉鎖循環系では血液（正確には赤血球）は血管外に出ることなく循環し、物質交換は毛細血管のみで行われる。上下水道は閉鎖系ではないが、



基本的に循環系に似る。毛細血管壁には小さな隙間がたくさん存在し、血圧によって管外に向かって栄養素などを溶かした水分を濾過により押し出し、また同じ水が末梢組織でできた老廃物を溶かし込んで血漿蛋白に引かれて回収される。この機序が障害されると浮腫（むくみ）が生じる。毛細血管の直前に位置する小さな動脈～細動脈は抵抗血管と呼ばれ、各臓器への血流量を調節する水栓の様な働きをする。この部分の血管径は神経性・液性に調節されている（図参照）。

### 3 血管の構造と機能

血管は一般的に3層構造を持ち、血液と接する内膜は内皮細胞で内張りされる。中膜には輪走する平滑筋細胞があり、その収縮により血管は細くなる。外膜には血管を栄養する細い血管や、平滑筋を神経性に支配する自律神経線維が存在する。体循環を構成する血管は以下のものが直列につながっており、毎分約5リットルの血液が流れている。

- 弾性血管：大動脈（胸部大動脈の直径：25mm）、動脈
- 抵抗血管：小動脈（直径1mm以下）、細動脈（直径0.1～0.2mm）
- 交換血管：毛細血管（直径0.01mm前後）
- 容量血管：静脈（下大静脈の直径：35mm）

各部の総断面積は大動脈が最小で、末梢に行くに従って徐々に大きくなり、毛細血管に至って急に増大して大動脈の約1000倍となり、静脈系に入って再び減少する。血流速度は総断面積に反比例するため、毛細血管では大動脈の1/1000と非常に遅いが、長さが1mm以下と短いため数秒で通過する。

### 4 血圧とは

血液循環の原動力は心臓により作られる血圧である。心臓は収縮期と拡張期を繰り返すポンプであり、左心室内圧は収縮期には120mmHg、拡張期には0mmHgと大きく変化する。心臓を井戸に設置した手押しポンプに例え、これに硬い水道管を繋いで水をくむ状況を考える。手で

ポンプレバーを押し下げれば水が流れ出るが、ポンプレバーを上げた時には水流は途絶えてしまう。次に水道管を柔らかいゴムホースと取り替え、ホースの先をつまんで細くしてみたらどうか。水流は強弱こそすれ、途切れることはなくなるはずである。弾性血管に抵抗血管が直列に繋がった循環系の構造は、丁度柔らかいホースの先をつまんだと同じ効果をもたらす、血流の平滑化に貢献している。

人間年をとれば多かれ少なかれ動脈硬化が起きる。硬化した動脈はあたかも硬い水道管のように振る舞うため、スムーズな血流は望めなくなってしまう。高齢者の高血圧で脈圧が大きくなることが多いのはこのためである。

## 5 細い血管に血液を流す仕組み

水道管を流れる水も粘稠性であるが、粘度は低く、ずり速度によって変化しないニュートン流体としての性質を持つ。一方血液の粘度は高く、これが直径0.01mm前後の毛細血管をスムーズに通過できるのには訳がある。粘性とはずり（ずり）に対する抵抗力として定義される。心臓を出てすぐの部分を除き、血管内の血液の流れは層流とみなせる。管の中心に位置する層は最も速く進み、管壁に接する層は最も遅く進む。これら層間の相対的な速度を層の間隔で割った速度勾配をずり速度、層間に働く力をずり応力と呼ぶ。ずり応力は流量と粘度（粘性係数）に比例、半径の3乗に反比例する。

血液の粘性係数はずり速度が小さいと非常に大きい。これは赤血球には互いに引き合い集合する性質があるからである。ずり速度が大きくなるとずり応力により赤血球が互いに引き離され、集合は解除される。毛細血管内でずり速度は最大となるが、赤血球が変形して見かけの粘度が低下する。また、血流速度は管壁近くが最小、管の中心部で最大となっており、この速度差によって赤血球に揚力がかかり、赤血球の軸集中が起こるために管壁近傍に血漿だけの層が形成される。血漿は全血に比べて粘度が低いため、これが循環抵抗を低下させるのに役立つ。

## 6 血管内皮細胞の役割

血管内皮細胞は刺激によって何種類かの血管作動物質を放出する。血管収縮物質としてはエンドセリンが代表的であり、弛緩物質としては一酸化窒素（NO）やプロスタサイクリンが知られている。内皮細胞にはプリン受容体やムスカリン受容体などが発現しており、これらに結合するアゴニストが刺激となる。また、血流によるずり応力も刺激となり、血流増加によりNOなどの弛緩物質が放出されて血管が弛緩する調節反応が起きる。

内皮細胞は刺激されると過分極し、それが平滑筋一内

皮細胞間ギャップ結合を通過して平滑筋に伝播すると平滑筋が弛緩し、血管は拡張する。この機序は細い動脈ほど効果的に作用する。

## 7 おわりに

今回は血管の神経支配については述べなかったが、この分野でもカルシトニン遺伝子関連ペプチド（CGRP）やNOを伝達物質とした血管拡張神経の存在が明らかにされつつある。循環系の理解は様々な病気との関わりにおいて重要であり、今後の研究が期待される。