

## 体内の血流を測るさまざまな方法

森田 伸友

私たちの体の中に流れる血液は酸素や二酸化炭素、栄養分や老廃物、各種ホルモンの運搬、体温や水分の調節など非常に多くの役割を担っている。そのため、血液の流れを知ることは体の状態を知ることにつながる。たとえば、運動をするとより多くの酸素を供給するために血流量を増加させたり、寒い環境では指先などの血流量を抑えることで体温の低下を防いだりといった調節が行われている。血管内の血流が滞ると心筋梗塞や脳梗塞といった重病にもつながることもある。手術室では患者の生命を維持しながら安全に手術を行うため、適切な血液循環ができていないかを確認し、患者の状態によっては人工心臓による補助循環を行う必要もある。

このように、日常生活から手術室まで多くの場面での血流量計測が求められている。では、どうやって血流を測ればよいのだろうか。血流量を把握するシンプルな方法としては、心拍数を測る方法があげられる。1回の心臓の拍動で送り出される血流量を一定と仮定するならば、心拍数(拍/分)×1心拍当たりの血流量(ml/分)という簡単な計算で体内全体に流れる大まかな血流量を推定できる。心拍数は首、手首、こめかみなどに指をあてて血管の拍動を感じ、一定時間の拍動回数を確認することで特別な機器を用いずに計測することができるが、光によって検出する方法もある。発光ダイオードなどから血管に照射された光の吸収、透過、散乱状態は、拍動による血管内の血液容積が変動することで変化する。これをフォトダイオードなどで検出することで心拍数を計測することができる<sup>1)</sup>。心拍センサや脈波センサという名称で多くの製品があり、最近では、これらのセンサが搭載されたスマートウォッチも一般に普及している。

心拍センサは体内全体の血流量を簡便に大まかに知ることに適している。一方で、皮膚表面近傍の毛細血管の血流量を知る方法として、レーザドップラ血流計が知られている<sup>2)</sup>。心拍センサなどと異なり、光の波長が単一のレーザ光を照射し、移動する物体で散乱された光の周波数が変化するドップラ効果を測定して皮膚表面近傍の毛細血管内の血流量を計測できる。光を当てる範囲を調整すれば、一辺100 μm程度から数mm程度の空間まで測定できる。近年では手のひらサイズの小型なものも出てきており、今臨床現場や一般への普及も期待されている。

測定空間をさらに細かく、たとえば、毛細血管の一本一本について知りたいという場合は、OCT(optical coherence tomography)による方法がある。OCTは干

渉性が比較的低い光を走査することで皮膚や血管の断面画像や3次元画像を得ることができるものであるが、ドップラ効果を利用することで生体組織画像と同時に血流量情報も取得することができ、数μmレベルの高い空間分解能でどこにどの程度血液が流れているかを観察できる<sup>3)</sup>。

これまで述べた光計測による方法は光の透過、吸収、散乱といった特性から、測定可能な深さは通常皮膚表面から数mm程度に限定される。これに対して超音波を用い、超音波のドップラ効果を利用することで、たとえば15 cm程度の深さまでの広い範囲の生体組織画像と血流量情報を取得できる<sup>4)</sup>。光のドップラの場合と比べて毛細血管のような低速な流れの計測には用いることができない。

電磁誘導を利用した電磁式の血流量計測という方法もある。励磁コイルによって生じさせた磁界中を導電性の流体である血液が流れることで発生する起電力を血管壁に接触させた電極で読み取ることで血流量を算出する<sup>5)</sup>。コイルや電極をもったプローブを直接血管に取り付けて使用するため、手術中に使用される。

以上のように、血流量を計測する方法は、光量変動、光のドップラ効果、超音波のドップラ効果、電磁誘導とさまざまであり、それぞれ分解能や測定範囲、使用可能な状況などが異なる。また、血流計測においては皮膚や骨、臓器などの障害物があり、血液自体も含めてそれらの物理特性(光、音響、電気、機械など)は均一でなく個体差もあり、また、当たり前ではあるが測定対象である人は動いているため、これらの要因で計測の誤差やアーチファクトが生じることがある。測定の原理や装置の特性、生体への理解をもって装置を選定し利用することが重要である。

- 1) ローム：エレクトロニクス豆知識、脈波センサとは [http://www.rohm.co.jp/web/japan/sensor\\_what3](http://www.rohm.co.jp/web/japan/sensor_what3) (2018/03/25)
- 2) 清倉孝規ら：NTT技術ジャーナル、**17**(11)、24 (2005)。
- 3) Thorlabs: OCTによる毛細血管血流観察 [https://www.thorlabs.co.jp/newgroupage9.cfm?objectgroup\\_id=6484](https://www.thorlabs.co.jp/newgroupage9.cfm?objectgroup_id=6484) (2018/03/25)
- 4) キヤノンメディカルシステムズ：Dr. SONOの公開講座 <https://www.medical.canon.jp/lecture/> (2018/03/25)。
- 5) 日本光電：MFV-3000 [http://www.nihonkohden.co.jp/iryo/documents\\_old/pdf/H002723B.pdf](http://www.nihonkohden.co.jp/iryo/documents_old/pdf/H002723B.pdf) (2005)。