

放射線科学

血流を観る！ —ドプラ・テクノロジーの進歩—

島本 佳寿広

はじめに：

血液循環は一つの閉鎖系であり、心臓から送り出されて血液が動脈から毛細血管を経て再び静脈から心臓へ戻ってくるということは誰でも当たり前の知識として持っている。人体の隅々まで血液が行き渡るとは生命を維持する機構からみれば当然備わっているべきシステムであるが、その精緻さには驚嘆せざるをえない。血液循環は組織に必要なエネルギーを与え続けるだけではなく、肺循環などの自らを再生させるシステムも巧みに包含している。我々は刻一刻と死と再生の営みをしつつ、ここに生存しているのである。かつて哲学者や宗教家らが、血液に神秘的な力が宿ると考えたのも当然であろう。「血」は「地」であり、「乳」であり、「父」であった。現代人の感性がもはや人体の巧みな仕組みに思いを馳せて神の御業の偉大さを感じとることが不可能な程に麻痺してきてしまっているのは実に寂しい限りである。

さて我々はこの神秘のベールをはがし、血流を非侵襲的に画像として捉える検査方法として、超音波ドプラ、MRI、PET等を有している。これらの画像診断装置のうち、最も簡便に、かつ直接的に「流れている状態」を視覚化することができるのはカラードプラだけであり、医学的知識は特に持っていなくても「血液がまさに流れているということ」を充分認識できる。

ここでは、カラードプラの臨床応用の概要と最近の動向について述べる。

カラードプラとは何か：

カラードプラは通常の超音波断層像に血流をカラー表示して重ね合わせるものであり、血流をリアルタイムで観察できる。私自身、初めてこの装置を使ったのは昭和62年頃であるが、まず最初に自分自身の腹部に探触子を押しあててみた。大動脈の中を鮮やかに色のついた固まりが心臓の拍動に同期して画面の中を次々に流れさってゆくのが見えた。大動脈から分岐する腹腔動脈、上腸間膜動脈をはじめ、門脈、肝静脈にも見事に色がついた。パルス状に流れゆく血流に向かって超音波をパルス状に送信する。そしてパルスとパルスが衝突し

反射されたパルスがこのように色の固まりとして眼前に現れる。カラードプラはいわば「からくりテレビ」であって、虚像を以て本物を観ているような錯覚を与える装置とも言えるのだが、この流れ去る固まりが自分の命を支えているのだと思うと実に感動的でした。

しかし、カラードプラ開発当初は描出できる血流も流速の早いものに限られており、グレイスケールの画像も不鮮明であった。ここ数年で低速流の検出感度は顕著に向上し、画像も鮮明なものになった。今や、循環器以外の領域でも広く利用されるようになり、消化器科領域、泌尿器科領域、産婦人科領域とその応用範囲は多岐に渡り、オプションとしてそれぞれの部位、目的に適した種々の探触子が開発されている。

カラードプラの動作原理の基本は申すまでもなくドプラ効果にある。ドプラが臨床の場で最もポピュラーなのは妊婦検診かもしれない。胎児の心拍動を確認するために連続波ドプラが使われており、ビュンビュン唸るような音を出すので素人にも「赤ちゃんが生きている」という実感を与えるものである。

一方、カラードプラのように反射源の位置情報が必要とされる時には連続波ではなくパルスドプラを用いなければならない。自動車の速度違反を取り締まると同様、動いている反射源から観測される反射波の周波数偏移により反射源の速度を推定することができる。これを断層面内の関心領域内において行い、その推定速度に対応して色の明暗をつけるとドプラ断層像が出来上がる。

血流表示の方法論と技術的問題点：

カラードプラでの血流表示は、周波数偏移から推定される平均流速を色調の明暗で表すものである。超音波断層像自体が解像度やコントラストの悪い画像なので、カラーを乗せると非常に分かりやすく感じられる。通常は、探触子に近づく血流が赤色、遠ざかる血流は青色で表示されるが、流れの方向が分かるというのはドプラ周波数偏移が正か負かを識別したものに対応する。乱流は周波数偏移の分散の大きさに応じて緑色を混ぜることで表現される。理髪店のシンボルのごとく動脈が赤色、静脈が青色なら分かりやすいが、画像の構成原理からみて動脈と静脈を色分けすることは技術的には困難である。動脈か静脈かの区別は、視覚的には動脈の方は拍動により血流信号の変化があるので概ね認識できるが、厳密には血流波形分析によらなければならない。また、ドプラ周波数偏移はビームと直交する方向の動きには観察されないもので、そのような方向に位置する血管では色が見つからない。同様に同じ流速を有する血管でもビームの入射角度が異なれば色の明暗は全く異なって表示されてしまう。一番明るく

描画されている血管の血流が最も早いとは限らないので画像を解釈する時に注意を要する。流速の絶対値はドプラ波形から得られる周波数偏移の絶対値をビームの入射角度に応じた補正をしなければならない。

血流以外の動きもカラーで表示されるので、探触子の保持の仕方や患者のちょっとした動きでもノイズが出現する。ノイズが目立たない範囲で血流が充分認識できるような表示条件の調整を要する。低速流を検出するには繰り返し周波数を下げる等の工夫も必要である。このようにカラードプラでは画像表示条件の設定や探触子と病変との位置関係により描出される血流が異なる等、様々な要因で画像が影響されるので、通常の超音波断層法のように探触子をあてるだけで調整は殆ど不要というわけにはいかない。画像表示方法を一定の条件で最適化することは困難であり、操作が複雑で熟練を要することは避けられない。

臨床応用の概要：

カラードプラによる超音波診断では勿論従来の超音波断層法が基本にある。通常の超音波断層法で一見病変のように見えるものが血管そのものかどうか確認したいという状況は、例えばリンパ節腫大があるかどうか検索している場合にはしばしば遭遇し、カラードプラの最も簡便な利用法の一つといえよう。

同じ意味で、超音波ガイド下で穿刺を行う場合にも血管を認識しやすくすることで安全に穿刺を施行できる。このように通常の超音波断層法にカラードプラを併用することが何らかの付加的価値を生ずることにその存在意義がある。

腹部領域や体表臓器では「腫瘍の診断への応用」が中心である。超音波断層法で捉えられた病変部の血流が豊富か乏しいのか、観察される血流が拍動性か定常流か等の血流情報は病態を把握する上で極めて有益な情報となる。

例えば肝腫瘍では、肝臓癌と肝血管腫や転移性肝腫瘍との鑑別、TAE後の効果判定及び再発の診断に有用な情報を与える。しかし、血流の描出能は未だ十分な域には達しておらず、血管造影とは隔たりがある。更に検査担当者の技術が未熟であれば当然描出されるべき血流が表示されないということもあり得るため、血流が乏しく見えることで必ずしも血流豊富な病変を否定できないのが現状である。

最近では、血流以外を対象にカラードプラを利用する研究も進められている。その中では組織特性に関する技術が注目される。一般に癌組織が硬いことを前提とした試みであるが、外部から振動を与えてそれに対する組織の振動をカラードプラで捉えることで癌と非癌部の識別を行うという手法である。

新しい展開 —パワードプラの開発— :

最近、新たな血流表示方法としてパワードプラが開発された。従来のカラー Doppler と比較して血流描出能は飛躍的に向上し、操作法も簡便化された。「誰が使用しても同じような血流イメージが得られる」レベルに達してきたと感じさせるシステムである。

ここで言う「パワー」とは Doppler のパワー・スペクトラムを意味し、パワードプラでは平均速度情報ではなく、血管内の血球密度分布を表現する。カラー Doppler で認められる速度依存性及び角度依存性がなく、いわゆる「折り返し現象」も生じない。血流方向は判別できず血流は単一色で表示されるが、ビームに直交する血管も描出されるのでパワードプラの方が血管の連続性が良く、複雑な血管の走行も認識しやすい。腎の小葉間動脈や手指の指動脈等の細い血管も充分描出できる感度を有している。今後は特に腹部領域ではパワードプラの方が主流となるだろう。しかし、血流方向が解ることが診断上重要であることは少なくなく、カラー Doppler の価値が減るものではない。

おわりに :

現代社会では「あれば便利かもしれないが、無くても支障はないモノ」が無数に氾濫している。おそらくカラー Doppler も開発当初にはこの範疇に入る評価しか下せなかつただろう。しかし、低速流を標的とした装置開発により適応が拡大され、需要は急速に伸びた。パワードプラも加わったことで一層魅力的な診断装置になり、「なくてはならない」という評価が定着してきたように思われる。

さて、最近の画像診断の研究の流れには大きく2つある。1つはより微細な構造を画像化するもので、従来の形態診断を更に追求してゆく分野である。もう1つは機能診断である。超音波断層法の場合、解像度は波長という理論的限界が厳然として存在するので発展性は機能診断に求められよう。Doppler は有力な手段と考えられ、特にパワードプラに新しい発展性への期待が集まっている。

(名古屋大学医学部附属病院講師・放射線科)