

M20231231_04_Caltech

音とレーザー光で深部血流を見る

多くの健康問題、そしてその結果としての医療は、血液がどのように体内を流れるかに関係している。心臓発作は、心筋への血流が制限されることによって引き起こされる。糖尿病の症状の多くは、血管の損傷によるものである。一方、腫瘍は、多くの場合、腫瘍に特異的に血液を送達する新しい血管の成長を促進する。また、血流は脳機能を測定するための重要な生理学的パラメータである。

このため、医療従事者は血管を検査し、その状態を評価できるようにしたいと考えているが、血管の多くは体内のかなり深く埋まっているため、探索的手術なしではそのような検査は難しい場合がある。

カリフォルニア工科大学 (Caltech) の Lihong Wang 教授 (Bren Professor of Medical Engineering and Electrical Engineering) の研究室で行われた新しい研究により、人間の深部血管、さらにはそこを流れる血液までもが非侵襲的な方法でイメージングできるようになった。

Nature Biomedical Engineering 誌に掲載された論文で、Wang とチームは、光音響ベクトル断層撮影法 (PAVT) と呼ぶこの技術について説明している。この技術は、赤血球に含まれる酸素運搬分子であるヘモグロビンによく吸収されるレーザー光を利用する Wang の他の光音響イメージング技術と多くの点で似ている。

ヘモグロビン分子がレーザーから吸収するエネルギーにより、ヘモグロビン分子は超音波で振動する。これらの振動は、皮膚の表面に到達するまで組織全体に伝わり、コンピュータに接続されたセンサによって検出される。次に、コンピュータは、組織の特徴、この場合は血管の画像を作成する。

Wang 教授の研究室が光音響技術を用いて血管を画像化する能力を示したのは今回が初めてではないが、この新しい手法は、これまでよりも人体の深部の血流を画像化することができ、血管の存在やその酸素化状態だけでなく、血管内を血液がどのように流れているかを初めて示すことができる。

「以前は、血管のサイズ、血液の濃度、酸素飽和度しか表示できなかった。今では、流量と方向の両方を示すベクトルフローを測定できる」と、Andrew and Peggy Cherng Medical Engineering Leadership Chair、Wang はコメントしている。

われわれの分野は、20 年以上前から光音響技術に取り組んできたが、誰もこのようなことを予測していなかった。われわれの分野では、このようなことが可能だとは思っていなかったので、われわれは自身が驚いた」(Wang)。

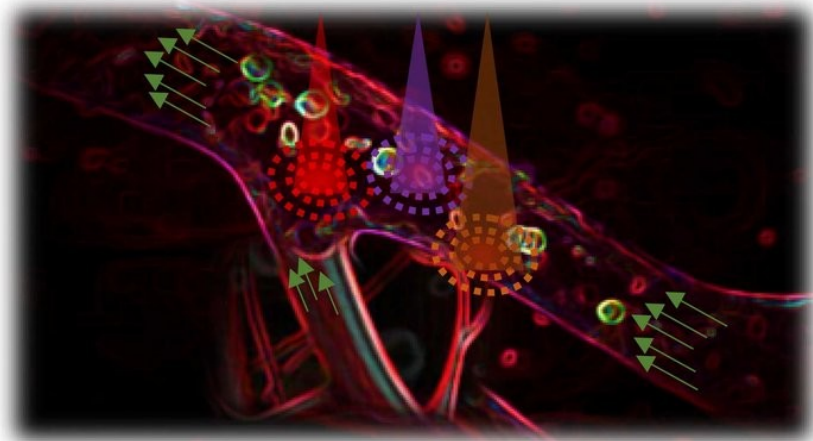
「初めて血流の画像を見たとき、本当に驚いた。この研究の最もエキサイティングな部分は、工学と生理学の相乗効果を発揮して、これまでこの分野では乗り越えられないと考えられていたハードルを克服したことである」と、筆頭著者、医用工学のポスドク研究者、Yang Zhang は話している。

PAVT は、体内深部の赤血球の分布から生じるシグナルを判別できるほどの微細な解像度を持っているため、方向と流量を見ることができ。システムに組み込まれたアルゴリズムは、これらの分布の動きを追跡し、流れの速度と方向を推測する。これは、Google が高速道路の交通量を、そのエリアで携帯電話が移動する速度を調べることで判断するようなものである。

研究チームは、ヒトの血流の画像とビデオは、赤血球の不均一な分布によって促進されるという仮説を立てているが、これは部分

的には、全身の血管の構造に起因するものである。

Wang は、この状況を、例えば、清流と濁流という水質の異なる 2 つの川が合流して 1 つの大きな流れになったときに起こることに擬えている。このような合流点では、同じ水路を流れていても、長い距離にわたって流れが混ざり合わないままになることも珍しくない。



同様の現象は、異なる血液含有量(酸素化と非酸素化)の血液を運ぶ 2 つの静脈が結合するときに見られる。この 2 つの血管からの血液は、1 つの流れとして合流したが、しばらくの間は混ざり合わないままである。PAVT システムは、これらの混合されていないパッチを識別し、その動きを追跡することができる。

また、赤血球は酸素化されているかどうかによって PAVT システムからのレーザ光を吸収する方法が異なるため、PAVT は特定の血管内の血液が運んでいる酸素の量を決定することもできる。「これにより、代謝の重要な指標である酸素消費量を定量化することができます」(Wang)。

この研究成果は、「Photoacoustic vector tomography for deep hemodynamic imaging」と題され、Nature Biomedical Engineering 誌に掲載された。