2本のファイバピックアップを持つレーザドプラ 法による血管内血流計測のための基礎的検討

Evaluation of a laser Doppler velocimeter with two fiber pickup for velocity measurements in blood vessels

平松 修,*大場謙吉,**西原 浩, 小笠原康夫
三戸恵一郎, 辻岡克彦, 梶谷文彦

O.Hiramatsu, *K.Ohba, **H.Nishihara, Y.Ogasawara
K.Mito, K.Tsujioka, F.Kajiya

川崎医科大学 医用工学 * 関西大学 工学部 ** 大阪大学 工学部

We developed a laser Doppler velocimeter (LDV) with a one fiber catheter and succeeded in measuring coronary blood velocities. However, the one fiber system suffers from a broad Doppler spectrum due to the flow distribution at the vicinity of the fiber tip. To improve the Doppler shift spectrum, we tested an laser Doppler velocimeter with two fibers which extends the sensing field away from the fiber tip. The two fibers were placed side by side. The He-Ne laser beam was focused onto the entrance of one fiber (clad:62.5 μ m, core:50 μ m). The beam was emitted into a flow field with a spreading angle of 5°. The backscattered light was collected by another fiber with a receiving angle of 17°. The power of the reflected light from a mirror was maximum at 0.6mm from the fiber tip in a water bath. Evaluation of the Doppler signal was performed using an annular open channel flow on a rotating turntable. Doppler signals were analyzed by a spectrum analyser. The Doppler shift signal showed a peaked pattern that is convenient for Doppler shift detection. The Doppler shift frequency had a linearity with the known blood flow velocity.

[目的]

我々は、すでに He-Ne レーザを用いた光ファイバ型 LDV を開発し、高度の分解能で冠動脈血流の拍動パターンや血管断面の血流プロフィールなど循環動態の解析を行ってきた。しかし、このシステムでは、1本のファイバでレーザ光を血流中に照射し、同一のファイバで散乱光を受光するため、ファイバ先端と血液の間に境界面ができる。そのため、得られるドブラ信号としては0流速から本来の速度まで広範囲の速度成分を持つドブラ信号が得られるので、その内の最高流速を検出して血流速度を求めた。しかし、流れに乱れがある場合は、このような方法では必ずしも正しい血流速度を得ることができない。そこで本研究では、このような速度成分の広がりや改善し、狭窄流など空間的に速度成分の広がりや有する場合でも対応できる Two fiber LDV を考案し、血流速度計としての実現可能性について検討した。

[Two fiber LDV]

Fig.1 にシステム構成とファイバピックアップ部を示す。基本的な原理は One fiber LDV と同様参照光方式を用いている。まず、5mW の He-Ne レーザ光をビームスプリッタで2分する。直進するレーザ光は出射用ファイバを通して血流中に照射する。この際、ファイバピックアップ部は2本のファイバを平行に接着しており、出射用ファイバからは出射角度5度の広がりや照射する。赤血球によって散乱された散乱光は受光角17度の受光用ファイバで受光する。この受信光と参照光を光ヘテロダイン検波することによって血流速度に応じたドブラ信号を得る。

[実験方法および結果]

本システムのサンプルボリュームは出射角と受光角のなす交叉領域および最大後方散乱光受光距離によって規定される。つまり、交叉領域がファイバに近い場合には境界層の影響を受けやすく、逆に遠い場合には光の減衰によって信号が得られない。そこで、コア径は $50\text{ }\mu\text{m}$ と同じであるが、外径が $125\text{ }\mu\text{m}$ と $62.5\text{ }\mu\text{m}$ の2種類のファイバを組み合わせて交叉領域を検討した。まず、ファイバ先端を水中内のミラーに90度の角度で接触させ、1.1だいにその距離間を変えその際得られる反おける癌巣の拡がりや tumor stain として

射強度を計測した。その結果、 $125-125\text{ }\mu\text{m}$ のファイバで $1200\text{ }\mu\text{m}$ 、 $62.5-62.5\text{ }\mu\text{m}$ のファイバで $600\text{ }\mu\text{m}$ の距離で最大パワーが得られた。次に、ターンテーブル内に血液を満たし一定速度で回転させた後、ファイバを60度の角度で挿入して模擬血流を計測した。その結果、交叉域の少ない $125\text{ }\mu\text{m}$ のファイバでは微弱な信号しか得られなかったが、 $62.5\text{ }\mu\text{m}$ のファイバでは血流速度に比例したピークを有する良好なドブラ信号が得られた。また、そのシフト周波数と模擬血流速度の相関関係は極めて高かった (Fig.2)。

[結語]

Two fiber LDV は2本のファイバのコア間隔を最適に選べばガウス分布状の血流信号が得られ、そのシフト周波数と血流速度の関係は直線関係であった。つまり、本法は、空間的に速度成分の広がりを持つ狭窄流などの解析に有効であることが示された。

Fig1. Laser Doppler velocimeter with two fiber pickup.

Fig2. Relation of Doppler shift frequency to known blood flow velocity by two fiber LDV.