

原 著

制御差温式血流計による連続的な
心筋組織血流量測定法飯島 毅彦* 高山 治子* 望月 亮*
伊藤 弘通* 久保田 康耶*

要 約

制御差温式組織血流計を心筋組織血流量の連続的測定に応用した。本血流計は連続的な測定が可能であるが、絶対値が測定できないため水素クリアランス式血流計にて較正を行った。制御差温式組織血流計の測定値の信頼性を検討するため、同時に測定した水素クリアランス式血流計の測定値と比較した。心筋内層外層血流量測定用の測定端子をそれぞれ用意し、内外層の血流量を別々に測定した。その結果、心筋外層で相関係数 $r=0.96$ 、心筋内層で相関係数 $r=0.93$ とよい相関を示した。心筋は常に拍動する臓器であるが、測定値は安定し、血流量の変動にも対応できた。本血流量測定法は急激な心筋血流量の変動を捉えることができ、連続的に絶対量で心筋組織血流量を測定できると考えられた。

緒 言

心筋組織血流量の測定には、Microsphere 法および水素クリアランス法などがこれまで使われてきたが、間欠的な測定法であるため、連続的測定ができなかった。このため短時間の血流量の変化を捉えることが困難で、急激な循環の変動による循環障害の発生の時点を実験的に決定することは不可能であった。制御差温式血流計は測定端子に熱電対を持ち、血流による熱の拡散を熱起電力として捉え、連続的に組織血流量を測定できる血流計である。制御回路を組み込んであるため、血流

量の変化を温度の変化でなく、熱量の変化として捉えるため、従来の熱電対式血流計と比較して安定した測定値が期待できる。そのため、絶対値の測定できる血流計にて較正を行えば、組織血流量を連続的に捉えることができると考えられる。大脳皮質の血流量測定では本血流計の測定値と水素クリアランス式血流計の測定値との間に良好な相関が得られ、連続的に絶対量を測定できることが確かめられている¹⁾。そこで、常に拍動している心筋のような組織で血流量の連続的測定にも本血流計が応用できるかどうかを検討した。

方 法

実験には体重 12~15 kg の雑種成犬 4 頭を用いた。塩酸ケタミン 250 mg の筋肉内注射により麻酔を導入して、気管内挿管をした後、66%笑気・33%酸素・1.0%ハロセンの吸入麻酔にて維持した。開胸後、心嚢を切開して、心臓を露出した。大腿動静脈にカニューレーションを行い、静脈は輸液路および薬剤の投与路とし、動脈からは連続的に動脈圧を測定をし、また、血液ガス測定用に採血を行った。

制御差温式血流計の測定端子は、心筋内層用にはニードルの長さが 8 mm のニードル型のものを用い心筋外層用にはプレート型のものを用いた(図 1)。両測定端子は心筋に縫いつけられるように翼を付け、四隅を絹糸にて左冠状動脈前下降枝灌流領域に縫いつけた。水素クリアランス式血流計の測定端子はワイヤー型のもの(直径 50 μm)を用いた。この電極は白金で出来ており、先端の 2 mm は白金黒が付けてある。測定に際しては心

*東京医科歯科大学歯学部歯科麻酔学教室

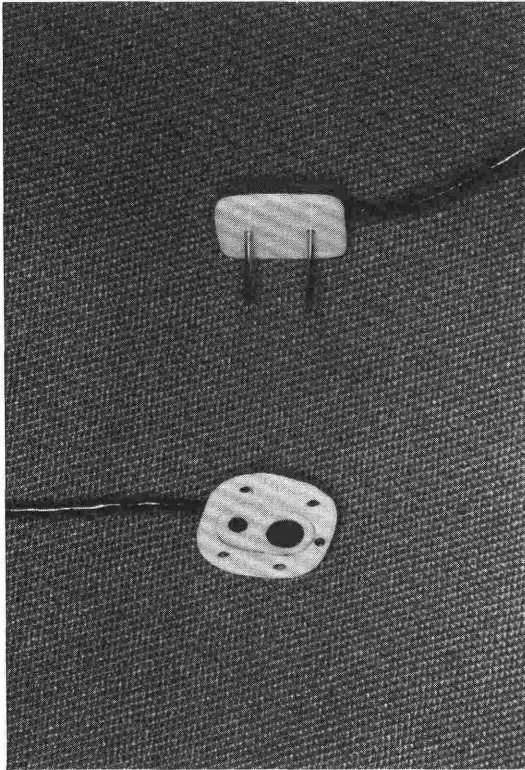


図 1

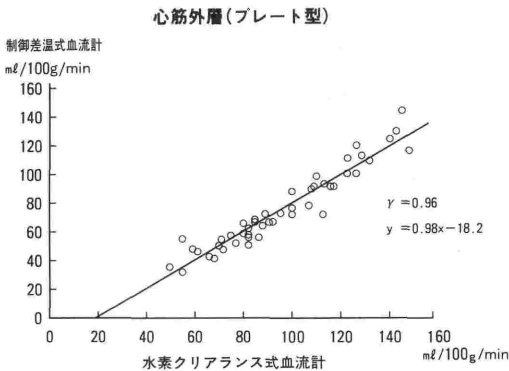


図 2

筋内層の血流量測定用に心筋表面より 8 mm 刺入し、心筋外層用には心筋表面より 2 mm 刺入した。

血液ガスの測定により、動脈血液中の pH、二酸化炭素分圧および酸素分圧が正常範囲内にあることを確かめた後、測定を開始した。はじめに水素クリアランス式血流計による血流量の測定を 3 回行い、この平均値に制御差温式血流計の値を合

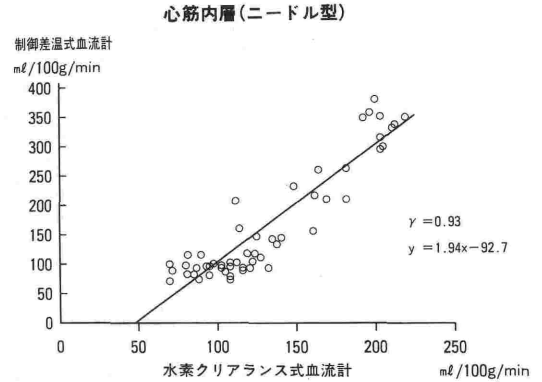


図 3

わせた。その後、ノルエピネフリン (1 μg/kg/min) の持続注入による昇圧と、持続注入を中止することによる降圧を繰り返し行って、心筋の血流量を変動させた。この間、水素クリアランス式血流計による測定を繰り返し行い、両血流計の測定値を比較した。実験終了後、サイアミラルの静脈注入により心停止させた後、制御差温式血流計に表示された血流量を 0 ml/100g/min とみなし、採得した測定値を補正した。

結 果

水素クリアランス法による血流量の測定は計 53 回行った。心筋外層では、血流量が 49~149 ml/100 g/min (水素クリアランス血流計の測定値) の範囲で両血流計の測定値の相関係数は、 $\gamma = 0.96$ であり、回帰直線 $Y = 0.98X - 18.2$ であった (図 2)。一方、内層では、血流量が 70~219 ml/100 g/min (水素クリアランス式血流計の測定値) の範囲で相関係数は、 $\gamma = 0.93$ であり、回帰直線 $Y = 1.94X - 92.7$ であった (図 3)。

考 察

制御差温式血流計の測定端子は過熱接点と参照点とをもち、両接点を銅-コンスタントで接続している。このため両接点間に温度差ができると電流が流れるようになっている。過熱接点にはヒーターが組み込まれており、両接点間の温度差を一定に保つような制御回路と接続している。このため、両接点間の温度差が小さくなるとヒーターを暖めるための電流が多くなるようになっている。例えば、血流量が多くなると加熱接点の熱

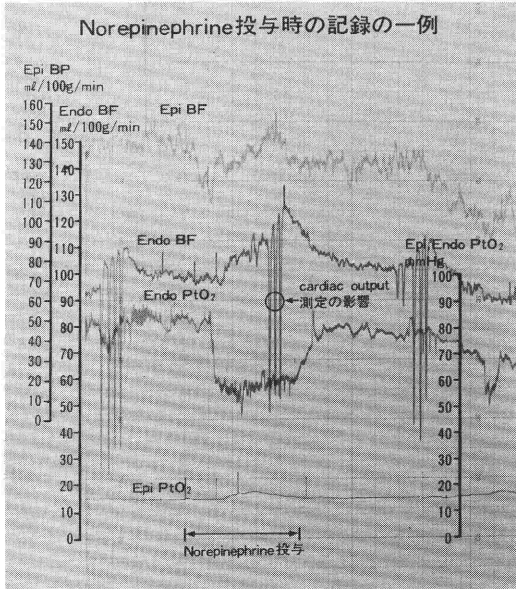


図4 Epi BF=心筋外層血流量 Endo BF=心筋内層血流量

が奪われるため、両接点間の温度差が小さくなる。この際、両接点間の温度差を広げるようにヒーターに流す電流が増加する。即ち、組織血流量が増えたとヒーターに流れる電流が増加するので、これを血流量として捉えるものである。本血流量測定法のともなったものは、交叉熱電対による血流量測定法である²⁾。交叉熱電対も血流による熱の拡散を熱電対の熱起電力により捉えるものであるが、加熱接点と参照点との温度差が一定でなく、加熱接点は参照点より 6°C 前後まで高くなることがあった。熱電対による血流測定範囲は温度の場の広がりであるため、温度差が大きくなればなるほど測定範囲が広がることになる。左室壁はイヌの場合、10 mm 前後であり、その内側には心室内の血流が流れている。そのため、測定範囲が一定しない血流量測定法では拍動の影響を受けやすいことが考えられる。制御差温式血流計は参照点と加熱接点の間の温度差を一定に保つようになっており、血流量の測定範囲をより小さく一定にすることができる。温度差が 2°C では温度の場の広がり直径 2 mm 以内と狭く限定することができる。その点では、本血流計は心筋の組織血流量の測定に適していると考えられる。水素クリアランス式血流計との相関が良好であったのもこのためではないかと考えられた。

また、熱電対による血流量測定法は熱で組織を温めるために血流量に影響を与える可能性も考えられる。さらに、加熱温度が高ければ組織の損傷も生じるといわれている。今回は温度差を 2°C に設定して実験を行ったが、肉眼的な組織損傷はみられなかった。この点でも温度差を一定にするこの方法は優れていると考えられる。

われわれは、本研究とは別に、先にサル的心筋組織酸素分圧の測定と同時に心筋組織血流量を測定した。その結果を図4に示した。ノルエピネフリンを静脈内に投与して、やや血圧が上昇した時の心筋組織血流量の測定を行った例が図4である³⁾。これらの図からも分かるように、制御差温式血流計は昇圧時の心筋の組織循環の変動を極めて早く捉えていた。同時に Thermodilution による心拍出量の測定をしたところ心筋内層では冷たい生理食塩液の注入による影響を大きく受け、測定値の大きく動揺しているのが12回みられるのは、このときに12回の冷たい生理食塩液の注入をしているからである。この大きく動揺した測定値は直ちに元の値に復帰しているのがわかる。また、心筋外層ではほとんど影響を受けていなかったのがわかった。

心筋内層では制御差温式血流計の測定値は、水素クリアランス式血流計の測定値より高く出る傾向があった。これは心筋内層の血流量測定用の測定端子がニードル型であることにより、組織との擦れ合いが起きたことによると考えられた。測定端子の翼は絹糸にて、きつく心筋と接触させており、拍動に伴うずれは少なかったが、ニードルの部分は拍動と同時に組織と擦れ合うと考えられる。組織とのこすれがあるとヒーターにより温められる組織の範囲が広くなり、そのためヒーターに流す電流量が増え、その結果、血流量が多く算定されるものと考えられる。本実験では、はじめに水素クリアランス式血流計で較正してから、ノルエピネフリンを投与し、心拍数、心筋の収縮も増加している時点で測定を行っている。このため、心筋組織と測定端子とのこすれの問題が大きく出てきたものと考えられる。

今回の実験は制御差温式血流計と水素クリアランス式血流計の測定値の間で良好な相関が得られたが、測定端子と心筋との密着が不十分であったり、あるいは血液が隙間から測定電極と心筋との

間に流れ込むような場合は制御差温式血流計の測定値は安定しなかった。正確かつ安定な測定値を得るには測定端子の装着を慎重に行う必要がある。

制御差温式血流計による心筋血流量の連続的測定は水素クリアランス式血流計との相関が良好であったことから、水素クリアランス式血流計による校正を初めに行えば、連続的に絶対量を測定することができることがわかった。しかしながら、心筋内層では両血流量測定法との間には心筋外層と同様、良好な相関が得られたが、制御差温式血流計の測定値が高めに出る傾向があり、今後検討する必要があると思われる。

ま と め

イヌの心筋で制御差温式血流計により心筋内層

及び外層の血流量を測定し、水素クリアランス式血流計との相関を求めたところ、良好な相関関係が得られた。このことから制御差温式組織血流計は心筋組織血流量を連続的に絶対量で測定できると考えられた。

文 献

- 1) 飯島毅彦, 伊藤弘通, 久保田康耶・他: 制御差温式組織血流計による連続的な大脳皮質組織血流量の測定. 呼吸と循環 35(2): 161-164, 1986.
- 2) 飯島一彦: 各種吸入麻酔剤の心筋 PO₂ と心筋組織血流量に及ぼす影響. 麻酔 20: 610-626, 1971.
- 3) 飯島毅彦, 伊藤弘通, 久保田康耶・他: 心筋外層および内層の組織血流量と組織酸素分圧の連続的測定法について. 麻酔 36(9): S325, 1987.

Continuous Myocardial Blood Flow Measurement with Feedback-Thermocouple Flowmetry

Takehiko Iijima, Haruko Takayama, Makoto Mochizuki
Hiromichi Ito and Yasuya Kubota

The purpose of this study is to evaluate myocardial blood flow measurement with newly developed Feedback-Thermocouple Flowmetry. In anesthetized dogs, myocardial tissue blood flow was measured in epicardium and endocardium separately with Feedback-Thermocouple flowmetry. This flowmetry has a bipolar electrode, in which a heater pole and a reference pole are included. Both poles are connected with cooper-constantan. Temperature difference between two poles is maintained by electric heater. Blood flow is calculated from heater current. There are two types of probe. One is a plate type for epicardium. The other one is a needle type for endocardium. These probes can be attached to myocardium

with silk strings. This flowmetry needs calibration by hydrogen clearance method. After calibration, blood flow was measured simultaneously and repeatedly by hydrogen clearance method to evaluate the values obtained from this flowmetry. A close correlation was found between blood flow values obtained by the two methods. Evaluation of this system showed a linear relationship between both measurement methods, although needle type probe tends to overestimate blood flow. Myocardium moved dynamically beats by beats. But recordings of this flowmetry kept stable. We conclude that Feedback-Thermocouple flowmetry can measure myocardial blood flow continuously and quantitatively.

Key words: Myocardial blood flow, Flowmetry, Thermocouple