

ドップラー・ガイド・ワイヤーによる冠動脈狭窄率の評価：連続の式は中等度以上の冠動脈狭窄においても有用か

Assessment of Coronary Stenosis Severity Using a Doppler Guide Wire in Vivo : Is the Continuity Equation Applicable to Moderate to Severe Coronary Artery Stenosis?

穂積 健之
吉川 純一
吉田 清
赤阪 隆史
赤土 正洋
高木 力
本多 康浩
大倉 宏之

Takeshi HOZUMI
Junichi YOSHIKAWA
Kiyoshi YOSHIDA
Takashi AKASAKA
Masahiro SHAKUDO
Tsutomu TAKAGI
Yasuhiro HONDA
Hiroyuki OKURA

Abstract

The usefulness of a Doppler guide wire was evaluated in the estimation of coronary stenosis severity in patients with moderate to severe coronary stenosis using the continuity equation. The maximal coronary flow velocities (V) proximal to the stenosis (p), at the stenosis (s), and distal to the stenosis (d) were measured using a Doppler guide wire (12-MHz, 0.018-in) in 12 patients with mild coronary stenosis (less than 50% diameter stenosis : group A) and 12 patients with moderate to severe coronary stenosis (more than 50% diameter stenosis : group B). Percent diameter stenosis (%DS) was calculated from V_p/V_s by :

$$\%DS = (1 - \sqrt{V_p/V_s}) \times 100 (\%)$$

(V_p = the maximal velocity proximal to the stenosis; V_s = the peak velocity at the stenotic site)

Percent DS was calculated from V_d/V_s by :

$$\%DS = (1 - \sqrt{V_d/V_s}) \times 100 (\%)$$

(V_d = the peak velocity distal to the stenosis)

Regression of Doppler-derived %DS from V_p/V_s compared to quantitative coronary angiographic %DS were :

Group A : $y = 0.83x + 3.0$ ($r = 0.79$), Group B : $y = 0.63x + 9.4$ ($r = 0.81$), Overall : $y = 0.63x + 9.6$ ($r = 0.91$)

Regression of Doppler-derived %DS from V_d/V_s compared to quantitative coronary angiographic %DS were :

Group A : $y = 0.98x - 1.0$ ($r = 0.81$), Group B : $y = 0.67x + 14.6$ ($r = 0.84$), Overall : $y = 0.79x + 7.6$ ($r = 0.91$)

The continuity equation method using a Doppler guide wire underestimates coronary stenosis severity in patients with moderate to severe coronary stenosis, although Doppler-derived %DS is correlated with angiographic %DS.

Key Words

Doppler guide wire, coronary stenosis, continuity equation, coronary flow velocity

はじめに

軽度から中等度の冠動脈狭窄例においては、冠動脈血流速から連続の式を用いて算出した狭窄率は、造影上の狭窄率と良好な相関を示すことが示されてきた^{1,2)}。しかし従来のカテーテル型ドップラー流速計は直径約1 cmの太さで、測定できる流速も115 cm/secであり³⁾、中等度以上の狭窄例での狭窄血流速の測定には限界があった。そのため中等度以上の狭窄例における連続の式を用いた狭窄率評価については、臨床例では十分に検討されてはいなかった。一方、ドップラー・ガイド・ワイヤーは直径0.018-in (約0.46 mm)の細さであることに加え、測定可能な流速は約6 m/secである^{4,6)}。このため従来狭窄血流速の検出の困難であった中等度以上の狭窄例においても、狭窄血流速の測定が可能と思われる。そこで今回の研究の目的は、ドップラー・ガイド・ワイヤーを用いて、中等度以上の冠動脈狭窄において冠血流速を測定し、連続の式を用いて求めた狭窄率評価の有用性について検討することにある。

対象と方法

1. 対象

冠動脈造影検査で狭窄部を認め、ドップラー・ガイド・ワイヤーにより、冠血流速の良好な計測が可能であった連続23症例(男19例,女4例,平均年齢59±3歳),24病変(左前下行枝15例,右冠動脈7例,左回旋枝2例)であった。狭窄部のdensitometry (CAMAC-300, Goodman製)による計測上,径狭窄率50%以上の病変(軽度狭窄群20-48%)12病変,および50%未満の病変(高度狭窄群52-82%)12病変であった。なお今回の検討では,狭窄部直前で主要分枝を認める病変は対象から除外した。

2. 方法

使用装置はCardiometrics製ドップラー・ガイド・ワイヤー(flowire,直径0.018-in,12 MHz)および同社製ドップラー流速計(FloMap)であった。超音波ビームはガイドワイヤー先端に備わったトランスデューサーより28°の角度で広がり,サンプルボリュームは5.2 mm先に設定した。ドップラーシグナルはドップラー流速計によって高速Fourier変換(FFT)でモニター表示しビデオ記録した(s-VHS)。

対象例において,通常のJudkins法による冠動脈造影を行った。なお造影検査前には,heparin 4,000単位および3 mg硝酸isosorbideを静注した。造影終了後,heparin 3,000単位追加静注後,5 Fr冠動脈造影用カテーテル(Clinical Supply製,Selecon)を通して,ドップラー・ガイド・ワイヤーを狭窄部を有する冠動脈内に挿入した。まずガイドワイヤー先端が狭窄遠位部に来るように,透視下にガイドワイヤー操作を行った。ガイドワイヤーの微調整を行うことにより,良好な血流シグナルの検出に努めた。次いでガイドワイヤーを少しずつ引き抜き,狭窄部の最大流速を検出すべくワイヤー操作を行った。最後にガイドワイヤー先端を狭窄近位部まで引き抜き,狭窄近位部の血流速を記録した。ガイドワイヤー先端の位置はいずれも透視下に確認を行った。

ドップラー・ガイド・ワイヤーで測定した狭窄近位部,狭窄部,狭窄遠位部のFFT波形より,最大流速の測定を行った(Figs. 1, 2)。狭窄近位部および狭窄部の流速比から連続の式を適応して,次式により径狭窄率を計算した。なお各流速値は3心拍の平均値を用いた。

$$\text{径狭窄率} = (1 - \sqrt{V_p/V_s}) \times 100 (\%)$$

V_p : 狭窄近位部の最大流速, V_s : 狭窄部の最大流速

また狭窄遠位部および狭窄部の流速比から同様に連続の式を用いて,次式により径狭窄率を計算した。

$$\text{径狭窄率} = (1 - \sqrt{V_d/V_s}) \times 100 (\%)$$

V_d : 狭窄遠位部の最大流速, V_s : 狭窄部の最大流速

3. 分析

軽度狭窄群および高度狭窄群のおのおのにおいて,ドップラー・ガイド・ワイヤーより計算された狭窄率と,冠動脈造影より求めた狭窄率との間で相関関係を検討した。また全例においても,同様の相関関係を検討した。

結果

1. 軽度狭窄群 (Fig. 3)

狭窄近位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は,造影法による場合と良好な相関を認めたが($r = 0.79$),若干,過小評価の傾向を示した($y = 0.83x + 3.0$)。狭窄遠位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は,造影法による場合と良好な相関を認めた

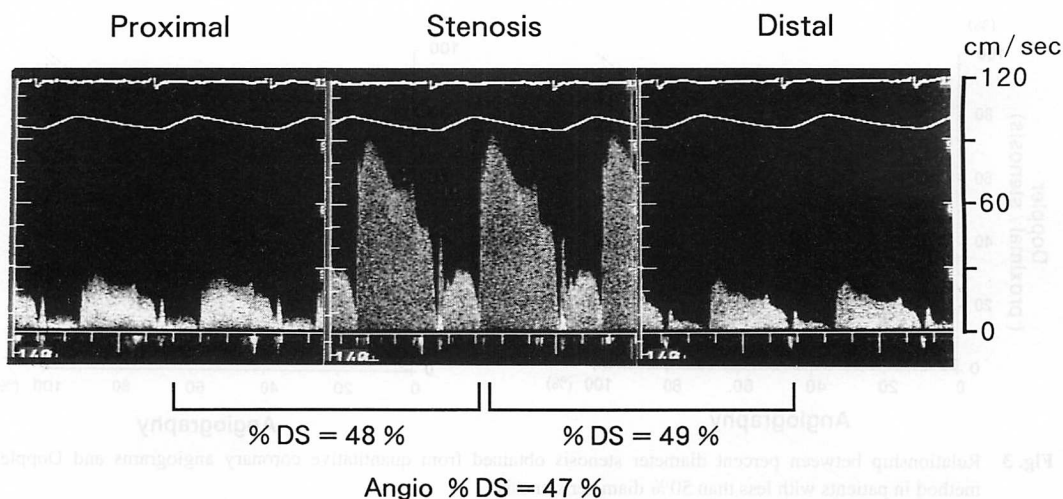


Fig. 1 Doppler velocity measurements at the proximal (left), stenotic (middle), and distal sites (right) in a patient with less than 50% diameter stenosis
 %DS=% diameter stenosis; Angio %DS=angiographic percent diameter stenosis

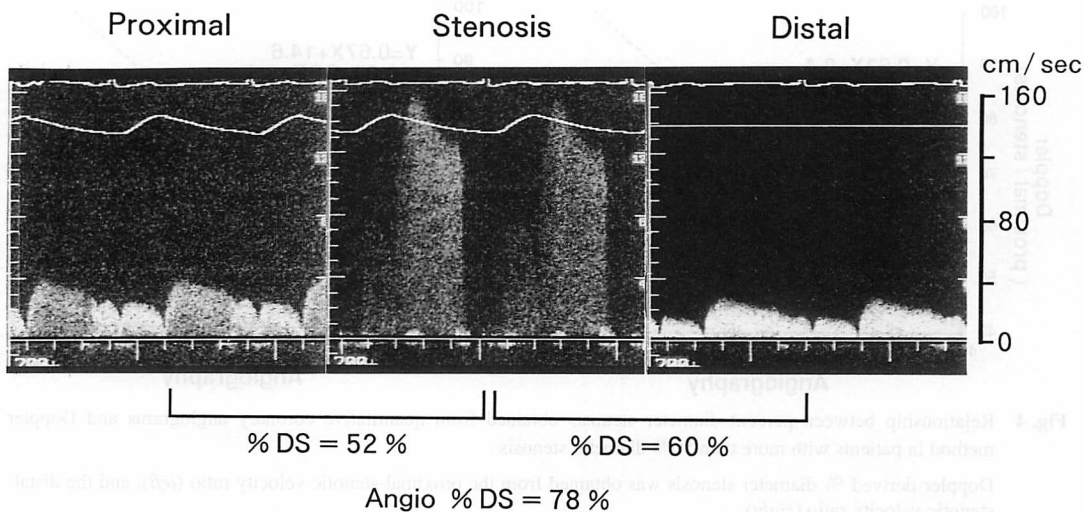


Fig. 2 Doppler velocity measurements at the proximal (left), stenotic (middle), and distal sites (right) in a patient with more than 50% diameter stenosis
 Abbreviations as in Fig. 1.

$(y=0.98x-1.0, r=0.81)$.

2. 高度狭窄群 (Fig. 4)

狭窄近位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は、造影法による場合と相関は良好であったものの ($r=0.81$), 過小評価を示した ($y=0.63x+9.4$). 狭窄遠位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は、造影法による場合と良好な相関であったが ($r=0.84$), やはり過小評価を示した ($y=0.67x+14.6$).

3. 全例 (Fig. 5)

狭窄近位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は、造影法による場合と相関は良好であったが ($r=0.91$), 過小評価を示す結果となった ($y=0.63x+9.6$). 狭窄遠位部および狭窄部の流速比より算出した径狭窄率は、造影法による場合と良好な相関を示したが ($r=0.91$), 軽度狭窄例のみの場合と比べて、過小評価傾向にあった ($y=0.79x+7.6$).

考 案

軽度から中等度の冠動脈狭窄例においては、冠動脈

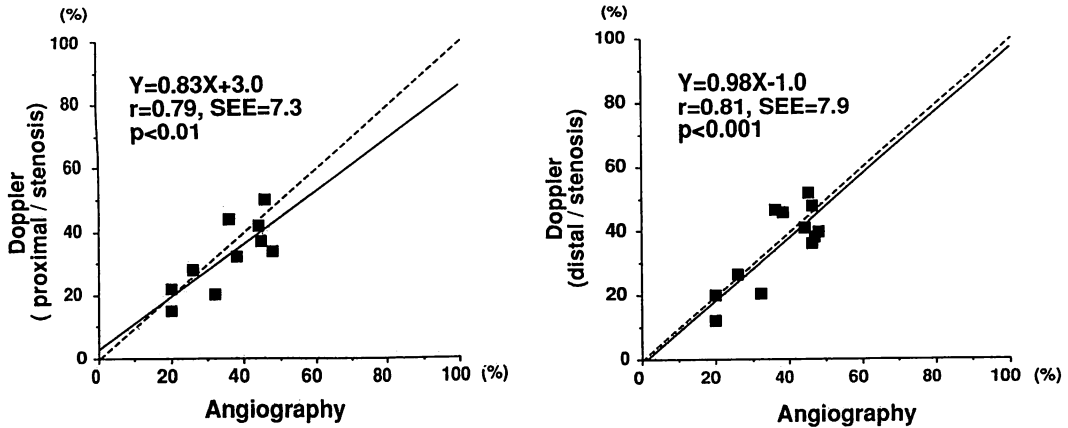


Fig. 3 Relationship between percent diameter stenosis obtained from quantitative coronary angiograms and Doppler method in patients with less than 50% diameter stenosis
 Doppler-derived % diameter stenosis was obtained from the proximal-stenotic velocity ratio (*left*), and the distal-stenotic velocity ratio (*right*).

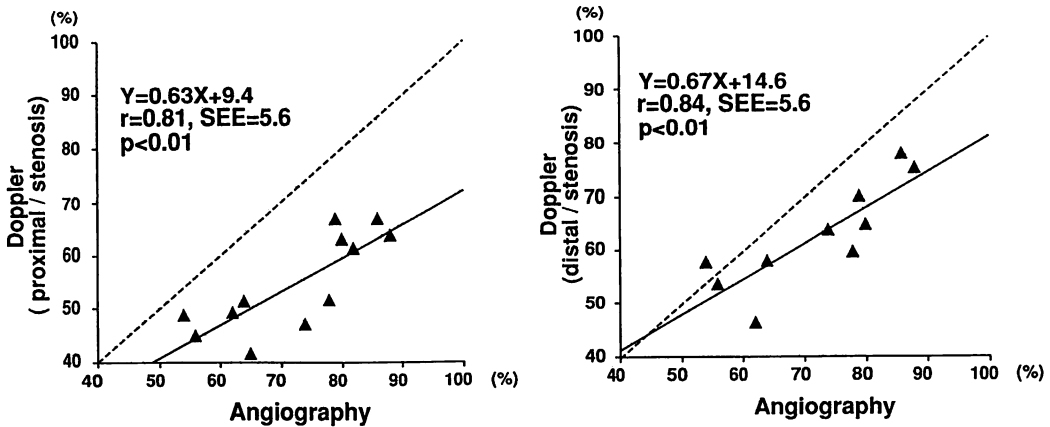


Fig. 4 Relationship between percent diameter stenosis obtained from quantitative coronary angiograms and Doppler method in patients with more than 50% diameter stenosis
 Doppler-derived % diameter stenosis was obtained from the proximal-stenotic velocity ratio (*left*), and the distal-stenotic velocity ratio (*right*).

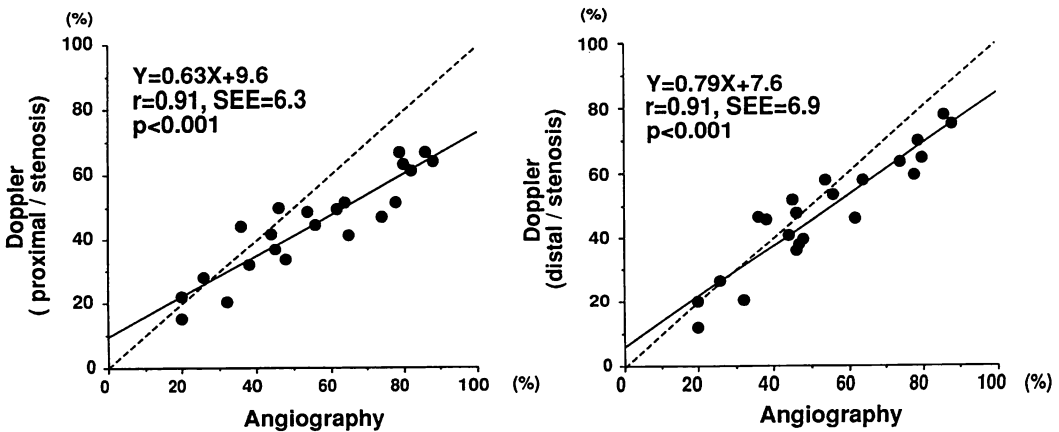


Fig. 5 Relationship between percent diameter stenosis obtained from quantitative coronary angiograms and Doppler method in all patients
 Doppler-derived % diameter stenosis was obtained from the proximal-stenotic velocity ratio (*left*), and the distal-stenotic velocity ratio (*right*).

血流速から連続の式を用いて算出した狭窄率は、造影上の狭窄率と良好な相関を示すことが明らかにされてきた^{1,2)}。Johnson らはカテーテル型ドップラー流速計を用いた動物実験で、冠動脈狭窄部と非狭窄部の最大流速比は、造影上の径狭窄率が 37-67% の範囲では、造影上の径狭窄率と極めて良好な相関関係 ($r=0.91$) を認めたと報告している³⁾。一方 Nakatani らは、カテーテル型ドップラー流速計を用いて、臨床例で冠動脈狭窄部と非狭窄部の平均流速比より連続の式を適用して算出した狭窄率は、造影上の面積狭窄率が 21-74% (径狭窄率 11-49%) の範囲では、造影上の狭窄率と極めて良好な相関関係にあることを報告している²⁾。しかしカテーテル型ドップラー流速計は直径約 1 cm と太く、測定できる流速も 115 cm/sec であるため³⁾、中等度以上の狭窄例での狭窄血流速の測定には限界があった。しかしながら臨床上問題となるのは中等度以上の狭窄度であり、ドップラー法により狭窄率評価が可能であるか否かは重要な問題である。

近年、臨床での使用が可能となったドップラー・ガイド・ワイヤーは、直径 0.018-in (0.46 mm) の細さであり、約 6 m/sec の流速まで測定可能である^{4,6)}。今回の対象例においては、狭窄部の最大流速は全例で測定可能であった。そこで今回の検討では、径狭窄率 50% 以上の比較的高度な狭窄病変と、それ以下の軽度狭窄病変の 2 群に分け、狭窄率評価における連続の式を用いたドップラー法の有用性を検討した。

径狭窄率 50% 以下において、ドップラー法による狭窄率が造影上の狭窄率と良好な相関を認めたのは、従来の報告と同様であった。とくに狭窄遠位部と狭窄部の流速比から狭窄率を算出した場合、造影上の狭窄率とはよい一致を認めた。しかしながら、50% 以上の狭窄例においてはドップラー法による狭窄率は造影上の狭窄率と相関は良好であるが、過小評価を示した。そして全体としては、ドップラー法による狭窄率は造影上の狭窄率に比べて過小評価傾向を示す結果となった。とくに狭窄近位部と狭窄部の流速比から狭窄率を算出した場合、この傾向はより大であった。

ドップラー・ガイド・ワイヤーの流速測定についての基礎的検討は、Doucette らによりすでに報告されている⁴⁾。また本装置を用いた狭窄モデル実験での検討では、狭窄部と非狭窄部の流速測定により、中等度以上の狭窄度 (径狭窄率にして 50-75%) の評価は正確に

行いうることが示されている⁷⁾。すなわち本装置による血流速測定については、信頼できるものと考えられる。

今回の臨床例での研究で、中等度以上の狭窄例においてドップラー法が狭窄率を過小評価した原因としては、以下のような要因が考えられる。

第 1 に、冠動脈の解剖学的な走行、狭窄部の形態などの影響により、ドップラー・ガイド・ワイヤー先端の位置や方向が適切でないため、狭窄血流の検出にさいして、最大流速が検出されていない可能性が挙げられる。Doucette らは、曲がりくねった管腔モデルにおいては、実際の流量に比べて、ドップラー・ガイド・ワイヤーにより測定された流量は、過小評価されることを示した⁴⁾。その原因として、ガイドワイヤー先端の位置の問題のため、最大流速の検出が困難であったことが挙げられている。狭窄部が高度になると、ガイドワイヤーの位置設定の問題のため、狭窄血流の最大流速が過小評価されている可能性がある。狭窄血流速を過小評価すると、その結果として狭窄率も過小評価する可能性が大きくなる。しかも、その可能性は、狭窄部が冠動脈の屈曲部付近に存在したり、高度で偏在している場合、とくに大きくなると思われる。今回の研究では、狭窄部の形態が狭窄部の最大血流速検出に与える影響についての検討はしていないが、今後、この点については検討が重ねられるべきであろう。このようにドップラー・ガイド・ワイヤーの臨床例への適用にさいしては、ガイドワイヤー先端の血管内の位置の適切な設定が重要であり、血管内の位置が適切でない、正確な流速がとらえられていない可能性を考慮する必要があると思われる。

第 2 に、モデル実験ですでに示されているように、狭窄部直前の分枝の影響が考えられる⁷⁾。すなわち同じ狭窄率であっても直前に分枝が存在する場合、狭窄近位部と狭窄部の流速比から狭窄率を求めると、狭窄率を過小評価してしまう。今回の研究では、造影上狭窄部直前に主要分枝が存在するような症例は含まれなかったため、流速測定に対して大きく影響はしていないと思われる。しかし小分枝の存在する症例は含まれており、影響は少ないかもしれないが、小分枝の存在のため、狭窄近位部と狭窄部から求められた狭窄率を過小評価する一要因となった可能性もある。

なお今回の検討では、冠血流の最大流速を用いて狭

窄率を算出したが、厳密には連続の式の適用にさいしては、平均流速を用いるべきであると考えられる。しかしカテーテル型ドップラー流速計を用いた研究では、最大流速を連続の式に用いて評価した狭窄度は、解剖学的な狭窄度と良好な相関にあると報告⁷⁾されているので、今回の検討に大きな問題はないと考えられる。

最後に、今回の検討では造影法による狭窄率を gold standard とし、狭窄率評価は densitometry 法を用いて行った。本法については、すでにその有用性が報告されている^{8,9)}。しかしながら、本法においても、造影条件や冠動脈の解剖学的走行などにより、狭窄率測定が影響を受ける場合もあるという問題点も報告されている⁹⁾。このような問題点が、今回の結果に影響を与え

ている可能性は否定できない。

以上のように、ドップラー・ガイド・ワイヤーは、従来のカテーテル型ドップラー流速計における限界を克服するものの、臨床例において、中等度以上の冠動脈狭窄例に連続の式を適用して狭窄率評価を行うには、限界があると考えられる。

結 論

ドップラー・ガイド・ワイヤーで測定した狭窄部と非狭窄部の冠動脈血流の流速比より、連続の式を用いて算出された狭窄率は、全体では造影法による狭窄率と良好な相関は示したが、中等度以上の狭窄例においては過小評価を示した。

要 約

研究の目的は、中等度以上の冠動脈狭窄において、ドップラー・ガイド・ワイヤーを用いて測定した冠血流速より、連続の式を用いて狭窄率評価が可能かどうか検討することにある。対象は 50% 以上の狭窄例 12 例(高度狭窄群)、および 50% 未満の狭窄例 12 例(軽度狭窄群)であった。

ドップラー・ガイド・ワイヤー (0.018-in, 12 MHz) を用いて、狭窄近位部、狭窄部、狭窄遠位部の最大血流速 (V_p , V_s , V_d) を測定した。連続の式を用いて、狭窄近位部と狭窄部の流速比 (V_p/V_s) および狭窄遠位部と狭窄部の流速比 (V_d/V_s) から径狭窄率 (%DS) を算出し、冠動脈造影上の狭窄率との相関関係を検討し、以下の結果を得た。

1. V_p/V_s から計算した %DS

軽度狭窄群: $y=0.83x+3.0$ ($r=0.79$), 高度狭窄群: $y=0.63x+9.4$ ($r=0.81$), 全例: $y=0.63x+9.6$ ($r=0.91$)

2. V_d/V_s から計算した %DS

軽度狭窄群: $y=0.98x+1.0$ ($r=0.81$), 高度狭窄群: $y=0.67x+14.6$ ($r=0.84$), 全例: $y=0.79x+7.6$ ($r=0.91$)

以上のように、ドップラー・ガイド・ワイヤーで測定した狭窄部と非狭窄部の冠動脈血流の流速比から連続の式を用いて算出された狭窄率は、中等度以上の狭窄例においては、造影法による狭窄率とは良好な相関を示すものの、過小評価を示した。

J Cardiol 1995; 25: 1-7

文 献

- 1) Johnson EL, Yock PG, Hargrave VK, Srebro JP, Manubens SM, Seitz W, Ports TA: Assessment of severity of coronary stenoses using a Doppler catheter: Validation of a method based on the continuity equation. *Circulation* 1989; **80**: 625-635
- 2) Nakatani S, Yamagishi M, Tamai J, Takaki H, Haze K, Miyatake K: Quantitative assessment of coronary artery stenosis by intravascular Doppler catheter technique: Application of the continuity equation. *Circulation* 1992; **85**: 1786-1791
- 3) Yamagishi M, Hotta D, Tamai J, Nakatani S, Miyatake K: Validity of catheter-tip Doppler technique in assessment of coronary flow velocity and application of spectrum analysis method. *Am J Cardiol* 1991; **67**: 758-762
- 4) Doucette JW, Corl PD, Payne HM, Flynn AE, Goto M, Nassi M, Segal J: Validation of a Doppler guide wire for intravascular measurement of coronary artery flow velocity. *Circulation* 1992; **85**: 1899-1911

- 5) Segal J, Kern MJ, Scott NA, King SB III, Doucette JW, Heuser RR, Ofili E, Siegel R : Alterations of phasic coronary artery flow velocity in humans during percutaneous coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1992; **20** : 276-286
- 6) Offli EO, Kern MJ, Labovitz, AJ, St. Vrain JA, Segal J, Aguirre FV, Castello R : Analysis of coronary blood flow velocity dynamics in angiographically normal and stenosed arteries before and after endolumen enlargement by angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1993; **21** : 308-316
- 7) Hozumi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Shakudo M, Yamaura Y, Takagi T, Miyake S, Yagi T, Maenishi T : Assessment of severity of coronary stenosis using a Doppler guide wire : An in vitro study. *Jpn J Med Ultrasonics* 1993; **20** : 653-659 (in Japanese)
- 8) Nichols AB, Gabrieli CFO, Fenoglio JJ Jr, Esser PD : Quantification of relative coronary arterial stenosis by cinevideo-densitometric analysis of coronary arteriograms. *Circulation* 1984; **69** : 512-522
- 9) Johnson MR, McPherson DD, Fleagle SR, Hunt MM, Hiratzka LF, Kerber RE, Marcus ML, Collins SM, Skorton DJ : Videodensitometric analysis of human coronary stenoses : Validation in vivo by intraoperative high-frequency epicardial echocardiography. *Circulation* 1988; **77** : 328-336