

관상동맥 질환에서 압력철선의 유용성

계명대학교 동산의료원 심장내과

남 창 욱

Role of Pressure Wire in Coronary Artery Disease

Chang-Wook Nam

Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Keimyung University Dongsan Medical Center, Daegu, Korea

To get the best clinical outcome after revascularization, understanding of patient and lesion should proceed. Although coronary angiography has been regarded as the gold standard for assessing coronary artery disease for several decades, it has several well-known limitations. Fractional flow reserve (FFR), measured with a coronary pressure wire, is an accurate and lesion-specific index for determining the functional significance (myocardial ischemia) of a particular stenosis. The selection of target vessels, the decision and method for revascularization, and the determination of prognosis in patients with CAD can be helped by FFR in daily practice. In this manuscript, we will review the role of pressure wire and discuss the limitation of it in evaluating CAD. (Korean J Med 2011;81:708-715)

Keywords: Fractional flow reserve; Coronary artery disease; Myocardial ischemia; Stent

서 론

조영제를 이용한 관상동맥 조영이 처음 시행된 이래[1] 관상동맥 조영술이 관상동맥 질환을 판단하는 기본검사법이라는 것은 재론의 여지가 없는 사실이며, 지금도 병변을 평가하고 중재시술을 시행하는데 중요한 역할을 담당하고 있다. 근래에 약물용출스텐트의 개발 이후 관상동맥 조영술에 기초한 관상동맥 질환의 경피적 중재시술은 빠른 증가를 보여왔으며 임상경과 또한 과거 풍선확장술이나 일반스텐트 사용시에 비해 양호한 결과를 보였다[2]. 하지만 관상동맥 조영술만으로 병변을 평가할 경우 조영술이 가지는 근본적인

제한점으로 인하여 실제 환자가 가진 관상동맥 질환을 과대 또는 과소하게 평가할 수 있다는 주장이 오래 전부터 제기되어 왔다[3]. 특히 약물용출스텐트를 이용한 중재시술의 급증에 따른 이면에는 전체적인 의료 비용의 증가[4] 장기적인 항혈소판제 사용에 따른 부작용[5] 스텐트 혈전증[6] 여전히 극복되지 못한 스텐트 재협착[7] 등의 문제점이 꾸준히 제기되고 있는 것이 사실이다. 따라서 스텐트 시술에 앞서 관상동맥 질환의 각 병변에 따른 적절한 평가가 매우 중요하다고 하겠다.

관상동맥 질환의 기능적 평가에 압력철선(pressure wire)를 이용한 새로운 검사법인 분획혈류예비력(fractional flow reserve,

Correspondence to Chang-Wook Nam, M.D., Ph.D.

Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Keimyung University Dongsan Medical Center, 56 Dalseong-ro, Jung-gu, Daegu 700-712, Korea

Tel: +82-53-250-8015, Fax: +82-53-250-7034, E-mail: newcv@dsmc.or.kr

FFR)은 실제로 다양한 병변에서 심근의 허혈 유무를 판단할 수 있어 관상동맥 중재시술 시 유용하게 사용될 수 있다 [8-10]. 여기서 저자는 FFR이 실제 관상동맥 질환의 진단과 치료에서 어떻게 적용되고 있는지를 정리하고, 임상 적용 시 주의할 점과 제한점을 기술하고자 한다.

본 론

분획혈류예비력(fractional flow reserve)

심근의 허혈 유무는 단순화해 보면 심근에 공급되어야 하는 적절한 혈액량의 변화에 의해 결정된다고 할 수 있다. 실제로 관상동맥을 지나는 혈류량은 측정하기 어렵기 때문에 측정하기 용이한 관상동맥압을 이용하게 된다. 이론적으로 보면 혈류는 압력차와 저항에 의해 결정된다. 따라서 미세혈관의 저항을 없애는 약물을 이용하여 저항을 상수에 가깝게 만들 때, 혈류량은 지나는 혈류의 압력 즉, 관상동맥압과 비례 관계를 가지게 된다. 이러한 개념으로 관상동맥으로 들어오는 동맥압과 병변 원위부의 동맥압을 동시에 측정하여 그 비율을 FFR이라 정의하였다. 실제 임상시술에서 FFR 값은 관상동맥 병변 원위부에 위치한 0.014 inch 압력철선 센서에서의 동맥압과 관상동맥 기시부에 위치한 도관으로부터 얻어지는 동맥압을 동시에 측정하여 그 비율로 표현되는데, 약물을 이용하여 최대충혈(maximal hyperemia)이 일어났을 때 측정된 값을 그 병변의 FFR 값으로 나타낸다.

$$FFR = \frac{Q_{max}^s}{Q_{max}^N} = \frac{(Pd - Pv)/R}{(Pa - Pv)/R} = \frac{Pd}{Pa}$$

Q_{max}^s , hyperemic myocardial blood flow in the presence of a stenosis; Q_{max}^N , normal hyperemic myocardial blood flow; P_d , distal coronary pressure; P_a , aortic pressure; P_v , venous pressure; R , hyperemic myocardial resistance

최대충혈을 일으키는 약물이나 주입 방법은 여러 가지가 있으나 현재까지는 중심정맥을 통해 아데노신을 140 µg/kg/min 속도로 주입하는 것이 일반적이며, 이 방법이 부작용이 적고 다양한 병변의 FFR 측정 및 분석에 편리함이 있어 가장 많이 사용되고 있다. 여러 연구들을 통해 심근의 허혈을 판단하는 기준값으로 0.75-0.80을 채택할 경우 90% 이상의 정확도를 가지는 것으로 보고되었다[8-12].

FFR은 전신혈압, 맥박수 등 혈액학적 변화에도 일관된 값

Table 1. Clinical applications of pressure wire

Intermediate or ambiguous lesion
Multivessel coronary artery disease
Multifocal (tandem) lesion
Diffuse or long lesion
Bifurcation lesion
Instant restenosis lesion
Post-stent evaluation
Risk evaluation related coronary revascularization
Nonculprit lesion in acute coronary syndrome
Microvascular dysfunction
Noncoronary disease evaluation

을 유지하고 재현성도 매우 높다[13,14]. FFR이 비록 병변의 구조적 평가에는 제한이 있으나 심근의 허혈 평가는 단순히 남아 있는 내경의 크기에만 영향을 받는 것이 아니라 병변의 길이, 형태, 혈관의 크기, 측부혈류, 혈류의 저항성, 혈류의 점도, 혈류를 제공하는 심근의 범위 등 많은 요소들에 영향을 받으므로 구조적인 접근법으로는 병변의 심근허혈 유무를 정확히 평가한다는 것은 불가능하며 FFR의 기능적 평가가 절대적 우위를 가진다고 하겠다. 또한, FFR은 시술 중에 바로 협착 병변의 기능적 평가가 가능하여 환자와 시술자 모두에게 편리함을 제공할 수 있다.

현재 FFR은 대부분의 중재시술 권고안에서 시술의 필요성을 결정하는데 적극적으로 사용하도록 권고되고 있는데, 실제 임상에서 압력철선은 더 다양한 경우들에서 사용될 수 있으며 대표적인 경우들을 표 1에 정리하였고 아래에 각각의 경우를 좀 더 자세하게 기술하였다.

중등도 협착 병변 평가

관상동맥 조영술상 중등도 또는 애매모호한 병변(intermediate or ambiguous coronary lesions)에서 FFR은 병변이 심근의 허혈을 유발하는지에 대한 판단을 내릴 수 있다. 중등도 병변을 대상으로 5년 추적결과를 보여준 DEFER (Deferral versus Performance of PTCA in patients without Documented Ischemia) 연구에 따르면 FFR ≥ 0.75인 병변은 적절한 약물치료와 스텐트 시술간에 5년 무사건 생존의 차이를 보이지 않았다 (80% and 73%, respectively; $p = 0.52$). 반면 대조군으로 본 FFR < 0.75로 스텐트 시술을 받은 경우 63%로 의미 있게 낮

았다($p = 0.03$) [15]. 사망 또는 심근경색의 빈도 또한 약물치료군에서 가장 낮은 값을 보였다(3.3%, 7.9% 및 15.7%, $p = 0.002$). 결과적으로 중등도 협착 병변의 경우 FFR에 따라 중재시술을 유예하여도 장기예후가 안전하다고 하겠다.

혈관초음파(intravascular ultrasound, IVUS)가 이러한 병변들에서 다양한 구조적 정보를 보여주고 시술을 시행할 때 도움을 주고 있지만, 병변의 재관류 시술의 시행여부를 결정하는 기준으로 사용하기에는 혈관에 따라, 병변의 위치 및 혈관의 크기에 따라 구분점(cut-off point)이 달라질 수 있다는 사실들을 볼 때 제한점이 있으며, 설사 경우에 따른 다양한 구분점을 사용하여도 비교적 낮은 양성예측도 및 특이도를 보인다는 한계가 있다[16,17]. 또 다른 중등도 협착병변들을 대상으로 시술의 시행여부를 결정하는 비교 연구에 의하면, FFR이 IVUS에 비해 임상경과에 영향을 미치지 않고 시술의 빈도를 2/3정도 줄여줄 수 있었다(33.7% in FFR vs. 91.5% in IVUS, $p < 0.001$)는 점을 기억할 필요가 있겠다[18]. 따라서 중등도 협착병변에서 재관류시술을 결정할 때는 FFR을 기준으로 하는 것이 바람직하겠다.

다혈관 질환 평가

다혈관 질환(multivessel coronary artery disease, MVD)은 관상동맥 조영술을 시행 받는 많은 환자에서 발견되고 있으며, 특히 주병변의 시술 후 동반병변의 시술 여부를 결정함에 있어 FFR은 중요한 역할을 하게 된다. FAME (Fractional flow

reserve versus Angiography in Multivessel Evaluation) 연구에 의하면 다혈관 질환에서 FFR에 기초한 스텐트 시술의 경우 조영술에 기초한 시술에 비해 환자당 시술된 스텐트 수의 의미 있는 감소(2.7 ± 1.2 vs. 1.9 ± 1.3 , $p < 0.001$)와 1년째 주요심장사건들의 발생 빈도를 줄여 주었고(13.2% vs. 18.3%, $p = 0.02$) [19], 이러한 경향은 2년까지 지속되었다 [20]. FAME연구 환자들을 대상으로 한 비용대비 효과 분석에서도 FFR에 기초한 시술이 조영술에 기초한 시술에 비해 의료비용을 줄여주고 생활의 질 또한 높여주었다[21]. 이러한 결과는 조영술상 다혈관 질환으로 보였던 환자의 43%에서만 실제 기능적 문제를 가진 다혈관 질환임을 FFR로 확인할 수 있었고[22], 필요하지 않은 시술을 줄임으로 주요심장사건들을 예방하고 비용적인 효과도 볼 수 있었다. 뿐만 아니라 관상동맥 우회술을 시행할 환자들에서도 FFR의 시술은 필요 없는 우회로술을 줄일 수도 있겠다.

Multifocal (tandem) 병변 평가

동일한 혈관내 여러 부위에서 협착소견을 보일 때(multifocal 또는 tandem 병변), 실제 어느 병변이 심근허혈에 주도적인 영향을 미치고 있는지 알아내는 것은 시술에 많은 도움을 줄 수 있다. 압력철선을 최대충혈 상태를 유지하면서 하방병변의 원위부부터 상방병변의 근위부로 천천히 끌어 당기면 (pull back) 병변들에 따라 다른 동맥압의 상승 양상을 보이게 되는데 이런 정보를 가지고 어느 부위가 심근허혈 주요

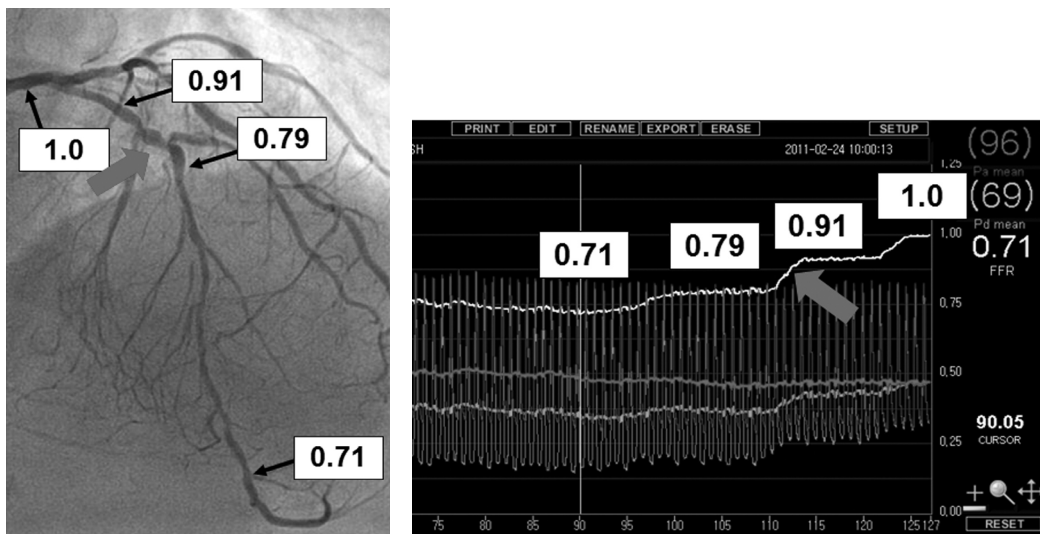


Figure 1. The arrow indicates the most ischemia inducing lesion in left anterior descending coronary artery is mid bifurcation lesion by fractional flow reserve pull-back analysis.

유발 부위인지 평가할 수 있다. 그림 1에서 보여주듯 어디에 스텐트를 삽입하는 것이 심근허혈을 해결하는데 가장 도움이 될지 정보를 제공해 준다[23]. 이 경우 주의할 점은 동맥압이 가장 높은 부위에 시술을 시행하고 나서 다시 FFR을 측정하여 남은 병변의 기능적 재평가를 하는 것이 중요하다. 이는 더 심한 병변의 영향으로 인해 나머지 병변의 기능적 문제가 과소평가될 수 있기 때문이다[24].

미만성 또는 긴 병변

병변의 길이가 매우 길거나 미만성일 경우에도 압력철선을 당기면서 동맥압의 상승변화를 보고 심근의 허혈을 유발하는 병변인지 확인이 가능하다. 그림 2에서 보면 조영술상의 좌전하행지는 특별한 병변이 없어 보이나 FFR을 이용한 평가로 허혈을 유발하는 미만성 병변이 있음을 진단할 수 있어 흉통의 원인을 진단하고 향후 치료 방침을 결정할 수 있겠다. 병변의 길이가 긴 경우에는 어느 부위가 허혈에 가장 영향을 미치는지 아니면 미만성 병변과 같이 부분적인 동맥압의 상승이 없는 경우를 확인할 수 있어 병변의 이해도를 높일 수 있겠다.

분지 병변 평가

분지 병변(bifurcation lesion)의 경우 특성상 3개의 개구부 병변(ostial lesion)들이 합쳐져서 생성하므로 관상동맥 조영술로 병변의 정확한 파악이 어렵고 FFR을 통해 얻어진 정보가 분지 병변의 이해에 큰 도움된다[25]. 특히, 추가지로 스텐트

삽입 후 결과지에 추가시술의 필요여부를 결정하는데 결정적 역할을 한다[26-28]. Koo 등[26]이 시행한 연구에 의하면 스텐트 후 결과지에 75% 이상의 협착이 있는 73개의 병변들 중에 단지 20개 병변들에서만 허혈을 유발하는 것으로 나왔고, 이를 기준으로 치료한 후 6개월 추적한 결과 8%에서만 기능적 재협착이 발생하여 대부분의 결과지 병변은 기능적으로 악화되지 않음을 증명하였다[27]. 소규모 연구이기는 하나 동일한 개념이 좌주간지 분지 병변에서도 시행되었는데, 29명의 환자에서 하나의 스텐트를 시술 후 좌회선지 개구부 협착이 50% 이상 발생한 17개 병변들 중에 5개 병변들만 심근허혈이 유발됨을 보여주었다[28]. 이런 연구결과를 볼 때 결과지 병변은 조영술에 의한 평가는 상당부분 오류의 위험이 있으며, 시술 결정에 있어서 FFR의 사용은 불필요한 복잡한 시술을 줄이고도 좋은 임상경과를 얻을 수 있겠다.

재협착 병변 평가

재협착 병변(Instent restenosis lesion)의 경우 스텐트 자체에 의한 영상의 제한점으로 관상동맥 조영술로 병변을 제대로 파악하기 힘들다[29]. 따라서 사전에 부하검사를 시행하지 않았을 경우 심근허혈의 유발여부를 판단하기는 매우 힘들다. 병변의 허혈 유무가 판단되지 않은 중등도 이상의 재협착 병변 50예를 대상으로 FFR을 시행하였을 때 70% 미만의 협착 병변들 중 반수에서 $FFR < 0.80$ 이었고, 50% 이상의 38개 병변들 중 29%에서 $FFR \geq 0.80$ 이었다[30]. 이 연구결과를 보면 FFR을 기준으로 재협착 병변의 치료여부를 결정하는

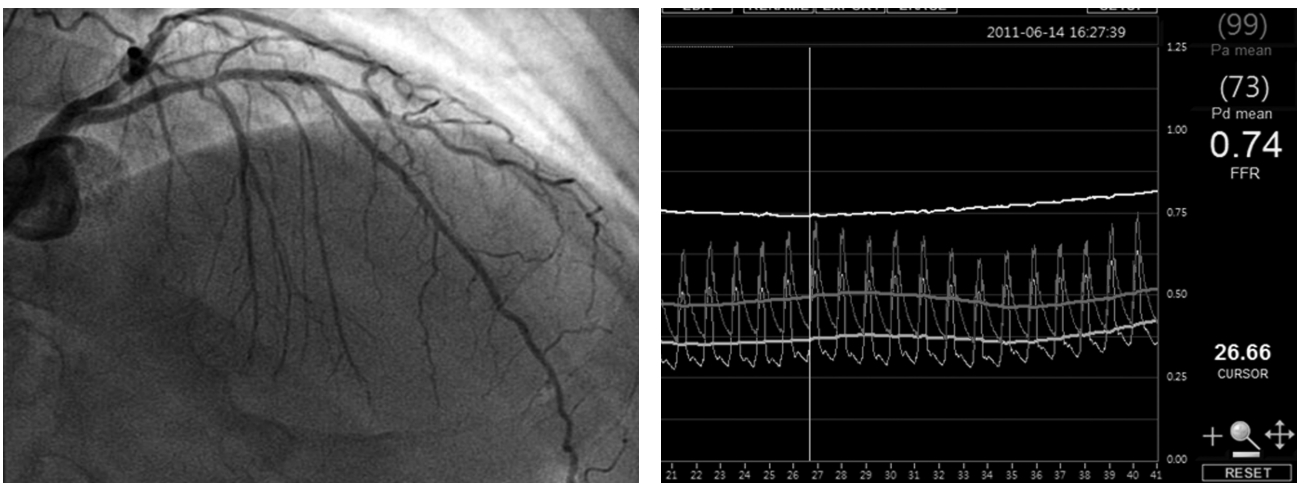


Figure 2. Although coronary angiography of left anterior descending coronary artery looks normal, fractional flow reserve reveals functional significance.

것이 불필요한 재시술을 줄이고, 필요한 시술은 시행하게 됨으로 환자의 임상경과에 도움이 될 수 있겠다.

시술결과 평가

FFR의 임상적용 범위는 단순히 시술 전 평가뿐만 아니라 중재시술의 성공 여부를 판단할 수도 있고, 나아가 임상경과를 예측하는데도 도움을 줄 수 있다. 과거 일반스텐트 자료에 의하면 스텐트시술 직후 측정된 FFR 값과 이어진 6개월간의 임상경과에 상관관계가 있음이 보고되었으며[31], 약물용출스텐트를 시술한 후에 측정된 FFR과 1년째 임상경과를 추적한 결과 여전히 FFR 사분 위에 따른 주요심장사건들의 발생빈도가 차이가 있음을 보고하였고, 스텐트시술의 성공 여부를 구분할 수 있는 기준으로 FFR 0.90이 제시되기도 하였다[32]. 하지만 시술 직후 FFR은 시술에 따른 색전증 등의 영향을 받을 수 있으므로 임상적용에 주의를 요한다고 하겠다.

관상동맥 질환의 시술 위험도 평가

중재시술에 따른 위험도 평가를 위해 최근 SYNTAX score가 제시되었는데 많은 연구들에서 이것이 장기적인 예후와 깊은 관련성이 있음을 보여 주었다[33,34]. Functional SYNTAX score는 기존의 SYNTAX score에다 FFR을 접목하여 허혈을

유발하는 병변에서만 점수를 계산하므로 실제 임상경과와 연관성을 더 높일 수 있었다(Harrell's C of FSS, 0.677 vs. SS, 0.630, $p = 0.02$; integrated discrimination improvement of 1.94%, $p < 0.001$). 이러한 functional SYNTAX score를 통해 497명의 MVD 환자 중 32%의 환자가 기존의 SYNTAX score시 보다 하위 위험군으로 이동하였다(Fig. 3) [35]. 따라서 FFR의 사용은 각 병변의 시술 필요성 판단뿐만 아니라, 중재시술에 따른 향후 임상경과를 예측하고, 적절한 재관류 방법을 결정할 때도 도움을 줄 수 있겠다.

급성관상동맥증후군에서의 동반병변 평가

FFR의 임상 적용에 있어 제한점 중에 하나인 급성관상동맥증후군(acute coronary syndrome)의 경우에도 급성질환을 일으킨 주요병변(culprit lesion)에는 FFR을 적용하기 어렵지만, 동반병변(nonculprit lesion)의 경우 응급시술 당시에 동반병변에서 측정된 FFR값이 한 달 뒤에 재측정한 값과 차이가 없음이 보고되어 시술자에게 응급시술 당시 동반병변에서 추후 시술의 필요성 여부를 판단할 수 있는 유용한 정보를 제공한다[36].

미세혈관 기능 평가

압력철선에는 압력센서뿐만 아니라 온도센서가 같이 존재한다. 이를 이용하여 온도희석기법(thermo-dilution technique)으로 관상동맥혈류예비력(coronary flow reserve, CFR)과 index of microcirculatory resistance (IMR)를 측정할 수 있다[37]. 특히 IMR은 관상동맥 미세혈관의 기능평가가 가능하여 급성심근경색증에 응급시술 후 평가나 미세혈관 협심증의 진단 등에 유용하게 사용될 수 있다. 급성심근경색증 환자 29명을 대상으로 응급재관류 시술 시행 후 측정된 IMR 32단위를 기준으로 나누어 보면 3개월 추적 좌심실 기능 회복을 예측할 수 있었다($R = 0.50, p < 0.01$)[38] 또한, 아직은 충분한 임상적 연구가 필요한 부분이지만, FFR은 신동맥협착과 같은 비관상동맥 질환에도 적용이 될 수도 있다.

앞서 기술한 다양한 병변과 질환들에서 FFR 사용의 유용성이 증명되거나 제시되었으며, 기본적으로 심근허혈 존재 여부와 이에 따른 재관류시술의 시행 필요성을 판단하는데 있어 다양하고 유용한 정보를 제공할 수 있다. 현재 미국심장학회 경피적중재시술 권고안에 의하면 중등도 협착 병변을 포함한 여러 관상동맥 병변의 중재시술 필요성 여부 결

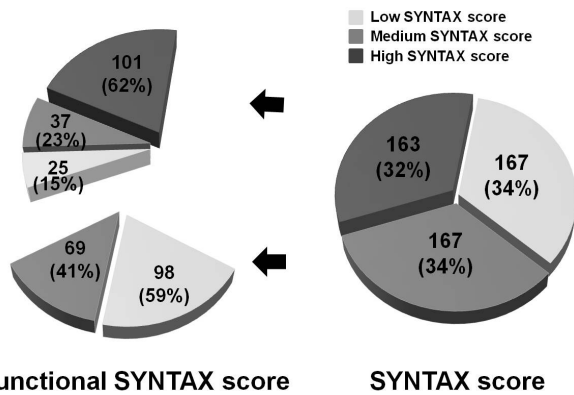


Figure 3. Proportional changes between scoring systems. By using the stratified scores of the SYNTAX score tertile, 32% of patients in the higher SYNTAX score groups moved to the lower score groups (23% of patients in the highest SS tertile moved to the middle group, 15% of the highest tertile moved to the lowest group, and 59% of patients in middle SS tertile moved to the lowest group) after calculating the functional SYNTAX score.

정에 FFR의 사용이 Class IIa, level of evidence A로 권고되고 [39], 유럽 권고안에서는 Classification of recommendation I, level of evidence A로 권고되고 있다[40].

FFR의 제한점

앞서 기술한 FFR의 여러 가지 장점에도 불구하고 FFR의 사용에는 고려해야 할 몇 가지 사항이 있다. 첫째로 FFR로 얻어진 정보를 임상적으로 확대하여 해석하지 않도록 주의가 요구된다. FFR값은 측정된 부위에 심근의 허혈이 존재함을 알려주는 것이지만 이것이 절대적으로 스텐트 시술이 필요하다든지, 시술만으로 심근허혈이 해결될 수 있다는 의미는 아니다. FFR 역시 다른 모든 시술에서와 같이 환자와 병변에 대한 이해도를 높이기 위한 정보를 제공하는 검사의 하나로 보아야 되고 최종적인 판단은 시술자가 여러 상황을 종합적으로 결정하여야 하겠다. 예를 들면 FFR로 Tandem 병변 또는 긴 병변에서 동맥압의 증가 부위가 허혈을 주요 유발 부위를 알 수는 있으나, 실제 치료에서는 병변들 사이의 간격 또는 병변 전후의 스텐트 안착 부위 등을 고려하여 시술 여부 또는 방법을 결정하여야 한다. 둘째로 비교적 단순한 시술이기는 하지만 시술과 측정이 원활하게 시행되기 위해서는 학습곡선을 그리는 시간이 필요하다. FFR은 얻어진 측정치를 기준으로 시술여부를 결정하기 때문에 측정치를 신뢰할 수 있는 기술의 습득이 우선되어야 한다. 단순히 시술에 익숙해지는 것뿐만 아니라, 다양한 병변에서 변화하는 FFR 값을 보고 임상상황에 접목하여 판단해야 하며, 단순히 0.75-0.80의 수치적 경계값만을 이용하는 검사법이 아님을 이해할 때 비로소 압력철선을 이용한 관상동맥 질환의 평가가 제대로 이루어질 수 있겠다. 셋째로 FFR은 관상동맥 조영술에 비해 좀 더 침습적인 검사법이다. 철선의 안전성이 초기에 비해 좋아지기는 하였으나 여전히 중재시술 시 사용되는 유도 철선에 비해 조절에 어려움이 있어 발생빈도는 매우 드물지만 관상동맥박리, 천공 등의 합병증을 주의해야 한다. 넷째로 FFR 측정치를 신뢰할 수 없는 동반질환이 있는 경우에는 주의를 요하겠다. 심한 심부전을 동반한 경우, 좌심실 비대가 심한 경우, 비후성 심근증 등의 조건에서는 FFR 값이 영향을 받을 수 있으므로 심근허혈 여부에 판단에 주의를 요하겠다. 다섯째, FFR은 시술자가 압력철선을 이용하여 얻은 측정치이므로 여러 상황들이 값의 신뢰도에 영향을 미칠 수 있다. 특히 경계선 값을 보이는 병변에서는 판단

에 주의를 요하며 반복측정 또는 충혈이 충분히 이루어졌는지 확인할 필요가 있다. 예상치 못한 결과를 얻을 경우에는 기계나 약물, 시술보조원을 포함한 시스템의 재점검, 조영술상의 병변과 압력철선의 재점검 등으로 통해 확인하는 작업이 꼭 필요하다 하겠다. 여섯째, 압력철선의 비용을 고려할 필요가 있다. 현재 중재시술 권고안에서도 모든 병변에서 압력철선을 사용하는 것은 Class III로 분류하여 자제를 권고하고 있다[39]. 예를 들면 전형적인 흉통을 주소로 내원한 환자의 관상동맥 조영술상 목측만으로 평가 가능한 좌전하행지 근위부 90% 이상의 단독병변이 발견되었을 때 시술 여부를 결정하기 위해 압력철선을 이용한 검사는 필요 없을 것이다.

결 론

관상동맥 조영술이 관상동맥 질환의 진단과 치료에 사용된 오랜 세월 동안 좀더 정밀하게 질환을 파악하기 위해 여러 새로운 장비와 기술들이 개발되어 왔으며, 그중 압력철선을 이용한 FFR은 다양한 병변에서 심근허혈의 유발 여부를 판단하여 재관류 시술의 필요성, 위치와 방법 등을 결정할 때 도움을 주고 있다. 뿐만 아니라 시술 후 평가, 시술에 따른 장기예후 추정, 미세혈관 기능 평가 및 비관상동맥 질환분야까지 그 활용도를 넓히고 있다. 이러한 다양한 상황에서 압력철선을 사용하기 위해서는 압력철선 사용의 제한점을 잘 이해하고 정확히 적용함으로써 그 신뢰도를 높일 수 있겠다. 관상동맥 질환의 중재적 치료가 지속적으로 증가하고 있는 시대적 흐름으로 보아 압력철선의 사용은 환자와 시술자 모두를 위해 긍정적인 방향으로 증가할 것으로 기대된다.

중심 단어: 분획혈류예비력; 압력철선; 관상동맥 질환

REFERENCES

1. Meneses Hoyos J, Gomez Del Campo C. Angiography of the thoracic aorta and coronary vessels, with direct injection of an opaque solution into the aorta. *Radiology* 1948;50:211-213.
2. Moses JW, Leon MB, Popma JJ, et al. Sirolimus-eluting stents versus standard stents in patients with stenosis in a native coronary artery. *N Engl J Med* 2003;349:1315-1323.
3. Marcus ML, Skorton DJ, Johnson MR, Collins SM, Harrison DG, Kerber RE. Visual estimates of percent diameter coronary stenosis: "a battered gold standard". *J Am Coll Cardiol* 1988;11:

- 882-885.
- Cohen DJ, Bakhai A, Shi C, et al. Cost-effectiveness of sirolimus-eluting stents for treatment of complex coronary stenoses: results from the sirolimus-eluting balloon expandable stent in the treatment of patients with De Novo Native Coronary Artery Lesions (SIRIUS) trial. *Circulation* 2004;110:508-514.
 - Yan BP, Gurvitch R, Ajani AE. Double jeopardy: balance between bleeding and stent thrombosis with prolonged dual antiplatelet therapy after drug-eluting stent implantation. *Cardiovasc Revasc Med* 2006;7:155-158.
 - Grines CL, Bonow RO, Casey DE Jr, et al. Prevention of premature discontinuation of dual antiplatelet therapy in patients with coronary artery stents: a science advisory from the American Heart Association, American College of Cardiology, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, American College of Surgeons, and American Dental Association, with representation from the American College of Physicians. *Catheter Cardiovasc Interv* 2007;69:334-340.
 - Virmani R, Liistro F, Stankovic G, et al. Mechanism of late in-stent restenosis after implantation of a paclitaxel derivate-eluting polymer stent system in humans. *Circulation* 2002;106:2649-2651.
 - Pijls NH, van Son JA, Kirkeeide RL, De Bruyne B, Gould KL. Experimental basis of determining maximum coronary, myocardial, and collateral blood flow by pressure measurements for assessing functional stenosis severity before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Circulation* 1993;87:1354-1367.
 - Pijls NH, De Bruyne B, Peels K, et al. Measurement of fractional flow reserve to assess the functional severity of coronary-artery stenoses. *N Engl J Med* 1996;334:1703-1708.
 - De Bruyne B, Bartunek J, Sys SU, Heyndrickx GR. Relation between myocardial fractional flow reserve calculated from coronary pressure measurements and exercise-induced myocardial ischemia. *Circulation* 1995;92:39-46.
 - De Bruyne B, Pijls NH, Bartunek J, et al. Fractional flow reserve in patients with prior myocardial infarction. *Circulation* 2001;104:157-162.
 - Kern MJ, Lerman A, Bech JW, et al. Physiological assessment of coronary artery disease in the cardiac catheterization laboratory: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006;114:1321-1341.
 - De Bruyne B, Bartunek J, Sys SU, Pijls NH, Heyndrickx GR, Wijns W. Simultaneous coronary pressure and flow velocity measurements in humans: feasibility, reproducibility, and hemodynamic dependence of coronary flow velocity reserve, hyperemic flow versus pressure slope index, and fractional flow reserve. *Circulation* 1996;94:1842-1849.
 - Bech GJ, De Bruyne B, Pijls NH, et al. Fractional flow reserve to determine the appropriateness of angioplasty in moderate coronary stenosis: a randomized trial. *Circulation* 2001;103:2928-2934.
 - Pijls NH, van Schaardenburgh P, Manoharan G, et al. Percutaneous coronary intervention of functionally nonsignificant stenosis: 5-year follow-up of the DEFER Study. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:2105-2111.
 - Koo BK, Yang HM, Doh JH, et al. Optimal intravascular ultrasound criteria and their accuracy for defining the functional significance of intermediate coronary stenoses of different locations. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:803-811.
 - Kang SJ, Lee JY, Ahn JM, et al. Validation of intravascular ultrasound-derived parameters with fractional flow reserve for assessment of coronary stenosis severity. *Circ Cardiovasc Interv* 2011;4:65-71.
 - Nam CW, Yoon HJ, Cho YK, et al. Outcomes of percutaneous coronary intervention in intermediate coronary artery disease: fractional flow reserve-guided versus intravascular ultrasound-guided. *JACC Cardiovasc Interv* 2010;3:812-817.
 - Tonino PA, De Bruyne B, Pijls NH, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention. *N Engl J Med* 2009;360:213-224.
 - Pijls NH, Fearon WF, Tonino PA, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention in patients with multivessel coronary artery disease: 2-year follow-up of the FAME (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation) Study. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:177-184.
 - Fearon WF, Bomschein B, Tonino PA, et al. Economic evaluation of fractional flow reserve-guided percutaneous coronary intervention in patients with multivessel disease. *Circulation* 2010;122:2545-2550.
 - Tonino PA, Fearon WF, De Bruyne B, et al. Angiographic versus functional severity of coronary artery stenoses in the FAME Study fractional flow reserve versus angiography in multivessel evaluation. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:2816-2821.
 - Pijls NH. Optimum guidance of complex PCI by coronary pressure measurement. *Heart* 2004;90:1085-1093.
 - Pijls NH, De Bruyne B, Bech GJ, et al. Coronary pressure measurement to assess the hemodynamic significance of serial stenoses within one coronary artery: validation in humans. *Circulation* 2000;102:2371-2377.
 - Koo BK, De Bruyne B. FFR in bifurcation stenting: what have we learned? *EuroIntervention* 2010;6(Suppl J):J94-J98.
 - Koo BK, Kang HJ, Youn TJ, et al. Physiologic assessment of jailed side branch lesions using fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:633-637.
 - Koo BK, Park KW, Kang HJ, et al. Physiological evaluation of the provisional side-branch intervention strategy for bifurcation lesions using fractional flow reserve. *Eur Heart J* 2008;29:726-732.

28. Nam CW, Hur SH, Koo BK, et al. Fractional flow reserve versus angiography in left circumflex ostial intervention after left main crossover stenting. *Korean Circ J* 2011;41:304-307.
29. Lopez-Palop R, Pinar E, Lozano I, Saura D, Picó F, Valdés M. Utility of the fractional flow reserve in the evaluation of angiographically moderate in-stent restenosis. *Eur Heart J* 2004; 25:2040-2047.
30. Nam CW, Rha SW, Koo BK, et al. Usefulness of coronary pressure measurement for functional evaluation of drug-eluting stent restenosis. *Am J Cardiol* 2011;107:1783-1786.
31. Pijls NH, Klauss V, Siebert U, et al. Coronary pressure measurement after stenting predicts adverse events at follow-up: a multicenter registry. *Circulation* 2002;105:2950-2954.
32. Nam CW, Hur SH, Cho YK, et al. Relation of fractional flow reserve after drug-eluting stent implantation to one-year outcomes. *Am J Cardiol* 2011;107:1763-1767.
33. Serruys PW, Onuma Y, Garg S, et al. Assessment of the SYNTAX score in the Syntax Study. *EuroIntervention* 2009;5:50-56.
34. Wykrzykowska JJ, Garg S, Girasis C, et al. Value of the syntax score for risk assessment in the all-comers population of the randomized multicenter LEADERS (limus eluted from a durable versus erodable stent coating) trial. *J Am Coll Cardiol* 2010; 56:272-277.
35. Nam CW, Mangiacapra F, Entjes R, et al. Functional SYNTAX score for risk assessment in multivessel coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:1211-1218.
36. Ntalianis A, Sels JW, Davidavicius G, et al. Fractional flow reserve for the assessment of nonculprit coronary artery stenoses in patients with acute myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Interv* 2010;3:1274-1281.
37. Fearon WF, Balsam LB, Farouque HM, et al. Novel index for invasively assessing the coronary microcirculation. *Circulation* 2003;107:3129-3132.
38. Fearon WF, Shah M, Ng M, et al. Predictive value of the index of microcirculatory resistance in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2008;51:560-565.
39. Kushner FG, Hand M, Smith SC Jr, et al. 2009 focused updates: ACC/AHA guidelines for the management of patients with ST-elevation myocardial infarction (updating the 2004 guideline and 2007 focused update) and ACC/AHA/SCAI guidelines on percutaneous coronary intervention (updating the 2005 guideline and 2007 focused update): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on practice guidelines. *Circulation* 2009;120:2271-2306.
40. Wijns W, Kolh P, Danchin N, et al. Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J* 2010;31:2501-2555.