

혈액투석을 위한 동정맥루 내 정압 및 전압 측정을 통한 기능 부전의 조기 진단

관동대학교 의과대학 외과학교실¹, 방사선과학교실², 내과학교실³, 연세대학교 의과대학 외과학교실⁴

이종훈¹ · 박성일² · 윤수영³ · 이상철³ · 양성자³ · 안형준⁴ · 김유선⁴ · 박기일¹

Early Detection of Hemodialysis Arteriovenous Fistula Dysfunction with Intra-access Static and Total Pressure Measurement

Jong Hoon Lee, M.D.¹, Sung Il Park, M.D.², Soo Young Yoon, M.D.³, Sang Choel Lee, M.D.³, Sung Ja Yang, R.N.³, Hyung Joon Ahn, M.D.⁴, Yu Seun Kim, M.D.⁴ and Kiil Park, M.D.¹

Departments of Surgery¹, Radiology² and Nephrology³, Kwandong University College of Medicine Goyang, and Department of Surgery⁴, Yonsei University College of Medicine, Seoul

Purpose: To detect the dysfunction of arteriovenous fistula (AVF) early, we have developed a new method to calculate the intra-vascular conduit flow rate based on the Bernoulli's theory. However, this method has limitation on detection of inflow stenosis. For detection of both in- and out-flow stenosis, we tried to measure intra-access static (p_s) and total pressure (p_T), and compared with angiographic findings.

Methods: From a total of 46 cases of native AVFs, of at least 3 months of construction, intra-access p_s and p_T were measured, before starting hemodialysis. Δp ($p_T - p_s$) and p_T /mean arterial pressure (MAP) ratio were calculated, and compared with angiographic findings.

Results: Among 37 patients without outflow stenosis (Vs) in fistulogram, 10 patients with inflow stenosis (As) had significantly lower p_T /MAP ratio and Δp than those without As patients ($p < 0.005$). Among 34 patients without As, Δp was significantly lower in 7 patients with Vs than those 27 patients without Vs ($p = 0.001$).

Conclusion: p_T /MAP ratio was correlated with As, and Δp reflects Vs in angiography. The measurement of p_s and p_T might be useful to predict inflow and outflow stenosis of AVFs.

Key words : Arteriovenous fistula, Stenosis, Pressure, Angiography

서 론

유지 혈액 투석을 받고 있는 환자에서 적절한 통로의 확보와 장기간의 기능 유지는 환자의 예후에 매우 중요하다. 동정맥루의 기능 이상은 혈전에 의한 폐색이 가장 많은 원인을

차지하고 있으며¹⁻²⁾, 이는 교정되지 않은 혈관의 협착에 의한 다³⁻⁵⁾. 또한, 혈관 협착의 조기 진단과 예방적 교정, 그리고 적절한 중재술 등을 통해 동정맥루의 개존률을 증가 시킬 수 있다고 보고되고 있다⁵⁻⁷⁾. 동정맥루의 기능 이상을 조기 발견하기 위해서는 주기적이고 객관적인 기능 평가 (surveillance)가 요구되며^{1, 3-9)}, 이학적 검사, 투석 중 정맥압 측정, 동정맥루 내 정압 (static intra-access pressure measurement), 요소 재순환율 (recirculation ratio of urea) 측정, 투석 적절도 측정 (Kt/Vurea), 동정맥루 조영술, 자기공명 혈관 조영술, 도플러 초음파, 초음파 희석법 등의 여러 가지 방법들이 제시되고 있다^{3, 5, 7-13)}. 그러나 이 방법들 중 동정맥

본 연구는 2005년도 연세대학교 의과대학 장기이식연구소 연구비지원으로 수행되었으며 요지는 2006년 5월 대한신장학회 춘계학술대회(서울)에서 구연 되었음.

접수: 2006년 9월 28일, 승인: 2006년 11월 9일
책임저자: 김유선 서울시 서대문구 신촌동 134번지 연세대학교 의과대학 외과학교실
Tel: 02)2228-2115, Fax: 02)313-8289
E-mail: yukim@yumc.yonsei.ac.kr

루 기능 부전의 진단에서 경제성, 반복성, 편리성, 정확성, 비침습성 등 이상적인 방법이 갖추어야 할 조건들을 모두 충족하는 방법은 찾기 힘들다.

저자들은 경제적이고 간편한 동정맥루의 기능 평가 방법을 개발하기 위해 혈액 투석관을 투석기에서 분리하여 환자와 수평이 되게 위치시킨 후 반대편 상완에서 측정된 평균동맥압 (mean arterial pressure; MAP)을 전압 (total pressure)으로 가정하고 투석관 내의 정압 (static pressure)을 측정하여, 베르누이 방정식 (Bernoulli's equation)을 이용한 투석관 내 혈류량을 계산하였다. 그 결과 투석관 내 계산된 혈류량은 혈관 변화에 의한 혈류량 변화를 반영하며, 동정맥루 내의 기능 이상에 의한 혈류량 변화는 혈액 투석관 내의 간단한 압력 측정으로 발견될 수 있다고 발표한 바 있다¹⁴⁾. 또한 투석관 내에서 측정된 압력과 실제 투석관 내 유량의 상관 관계를 규명하고, 베르누이 방정식에 의해 계산된 도관 내 유량과 실제 유량을 비교하여, 그 차이를 알아보고자 생체 외 모델로 실험한 결과 측정된 도관 내의 압력을 근거로 하여 계산한 유량은 실제 관내 유량과 정확히 일치하지는 않았으나 밀접한 상관 관계를 보여, 관내 압력의 측정으로 유량의 변화를 진단할 수 있다고 발표한 바 있다¹⁵⁾.

또한, 이 측정 방법으로 자가 혈관에 의한 동정맥루로 혈액투석을 하고 있는 27명의 환자를 대상으로 18개월 간의 경향 분석을 한 결과, 베르누이 정리를 이용하여 계산한 투석관 내 혈류량의 감소는 동정맥루의 정맥 유출로의 협착 조건을 반영하였다. 그러나 이 방법으로는 동맥 측 천자 이전 부위, 즉 동정맥루 유입로에 해당하는 동맥 및 문합부와 그 부근 정맥의 협착은 발견 할 수 없는 한계가 발견되었다¹⁶⁾. 이는 정확한 전압의 측정 없이 반대편 상완에서 측정한 평균 동맥압을 전압으로 가정하였기 때문이며, 따라서 동정맥루의 유입로의 이상 소견을 조기에 발견하기 위해서는 정확한 전압의 측정이 필요하게 되었다.

한편, 베르누이 방정식에 의한 혈류량 계산 공식에서 도관의 단면적이 일정한 경우 점성도와 밀도를 무시한다면 혈류량은 전압 (total pressure; p_T)과 정압 (static pressure; p_s)의 차이에 의해 결정된다(식 ①).

$$Q_a = A \{ 2(p_T - p_s) / \rho \}^{1/2} \quad \text{①}$$

(Q_a : 유량, A: 도관의 단면적, ρ : 밀도)

저자들의 앞선 연구 보고에 의하면 혈액투석관 내의 p_s 은 동정맥루 내의 혈류량과 상관관계가 있으므로¹⁴⁾, 이번 연구에서는 혈액투석관 내에서 압력을 측정하지 않고 동정맥루에서 직접 p_s 과 p_T 을 측정하였다.

본 연구의 목적은 실제 투석 환자를 대상으로 직접 동정맥루 내에서 p_s 과 p_T 을 측정하고, 혈관조영술에 의한 유입 혈관 및 유출 혈관의 협착 소견과의 상관관계를 규명하여, 본 연구 방법의 임상적 유용성을 평가 하고자 함이다.

대상 및 방법

1. 대 상

조성 후 최소 3개월이 경과한 자가 혈관에 의한 동정맥루를 통해 혈액투석을 하고 있는 46명의 환자를 대상으로 하였다.

2. 혈관조영술

모든 환자들은 연구 시작 시 Visipaque 320[®] (iodixanol; Amersham Health, Cork, Ireland) 을 사용하여 혈관조영술을 시행하였다. 투석 시 동맥측 천자 위치 이전 부위 협착 (inflow stenosis; As)과 이후 부위 협착 (outflow stenosis; Vs)의 정도를 각각 pixel로 측정 및 계산하여, 50% 이상의 협착 소견이 발견될 경우 임상적으로 유의한 것으로 판정하였다. Vs의 정도는 상-하위의 정맥의 직경을 기준으로 측정하였고, As의 정도는 영양 동맥 (feeding artery)의 직경을 기준으로 측정하였다.

3. 동정맥루 내 p_s 및 p_T 의 측정

동정맥루 내 p_s 의 측정은 우선 16 gage의 동정맥루 천자 세트 (A.V. Fistula Set: Baxter Healthcare Cor., Deerfield, IL, USA)를 이용하여 동정맥루의 동맥 측에 천자를 하고, 그 말단에 생리식염수를 채운 연속 관류 카테터 (Pressure Monitoring Kit with Truwave disposable pressure transducer: Edwards Lifesciences, LLC., Irvine, CA, USA)를 연결하였고, 압력을 측정할 수 있는 환자 감시 장치 (Dash 4000[®]: GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA)에 연결하였다 (Fig. 1A). 이때 동정맥루 천자 세트의 연속 관류 카테터 내부에는 공기 방울을 완전히 제거하고, 카테터에 부착된 압력 센서의 3 way cock를 조정하여 대기압과의 사이에서 0점을 조정한 후 다시 환자의 혈관과 연결된 관의 압력이 측정되도록 3 way cock를 조정하였다. 압력 곡선이 안정되고 난 후의 수축기 및 이완기 압력을 읽은 후

MAP을 계산하는 공식에 의해 p_s 를 구하였다. p_s 의 측정 후 천자부의 직상방을 지혈대를 이용하여 결찰하여 동정맥루의 혈류를 차단하고 p_T 를 측정하였다 (Fig. 1B). p_T 의 측정 시에도 압력 곡선이 안정되고 난 후의 수축기 및 이완기 압력을 읽은 후 MAP을 계산하는 공식에 의해 p_T 를 구하였다. 이때 완전한 혈류 차단을 확인하기 위해 지혈대 결찰 후 하위부에 청진기를 대고 잡음 (bruit)의 소실을 확인하였으며, 너무 강한 압박에 의한 영양동맥의 협착을 방지하기 위해 동정맥루 쪽 인지에서 환자 감시 장치를 이용하여 산소 포화도를 측정하면서 변화가 없는 것을 확인하였다.

측정된 p_s 및 p_T 과 반대편 상완에서 측정한 MAP으로 p_T 과 MAP의 비 (p_T /MAP ratio)와 p_T 과 p_s 의 차 (ΔP)를 계산 하였다. p_T /MAP ratio와 ΔP 를 혈관 조영술에서 A_s 가 있는 군과 없는 군, V_s 가 있는 군과 없는 군에서 각각 비교 하였다.

또한 동정맥루의 형태에 따라 요골 동맥에 의한 동정맥루를 가진 군과 상완동맥에 의한 동정맥루를 가지고 있는 군에서 각각 p_s , p_T , ΔP 및 p_T /MAP ratio를 비교하였다.

4. 동정맥루 내 정압비 (static intra-access pressure ratio; SIAPR)와 투석 중 정맥압(dynamic venous dialysis pressure; VDP)의 측정

동정맥루의 동맥 측 천자로 측정된 p_s 와 반대편 상완에서 측정된 MAP로 SIAPR를 계산하였고, 이 결과를 혈관 조영술에 의한 A_s 및 V_s 소견과 비교하여 NKF-K/DOQI guideline에서 제시한 협착을 의심할 수 있는 진단적 기준치의 범위에 속하는 환자의 숫자를 구하여 임상적 가치를 평가하고자 하였다.

혈액투석 시작 시 펌프에 의한 혈류량을 200 mL/min으로 고정하고 5분 경과 후 정맥 챔버의 압력을 측정하였다. 측정된 투석 중 정맥압의 평균을 V_s 가 있는 군과 없는 군에서 비교하였다. 투석 중 정맥압은 NKF-K/DOQI guideline에서 제시한 대로 125 mmHg 이상 시 V_s 를 시사하는 것으로 판단하였다.

5. 통계 분석

모든 통계 분석은 컴퓨터 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS 11.5를 사용하였다. 혈관 협착이 있는 군과 없는 군 사이의 p_T /MAP ratio와 ΔP , 그리고 동정맥루의 형태에 따른 p_s , p_T , ΔP 및 p_T /MAP ratio는 모두 Student-t test를 이용하여 비교하였으며, 통계적 유의성은 p-value 0.05 미만으로 하였다.

결 과

1. 대상 환자의 동정맥루 관련 정보

전체 46명의 환자 중 남자가 23명이었고, 평균 연령은 58.7 ± 14.2 세 (34-84) 였으며, 당뇨 환자가 21명 (45.7%)이었다. 동정맥루는 조성 후 평균 26.9 ± 30.9 개월 (3-130) 경과 되었으며, 상완동맥을 사용한 경우는 14명 (30.4%)이었고, 32명 (69.6%)은 요골동맥을 사용한 동정맥루였다.

2. 혈관조영술 소견

연구 시작 시에 시행한 혈관조영술에서 동맥 측 천자 부위

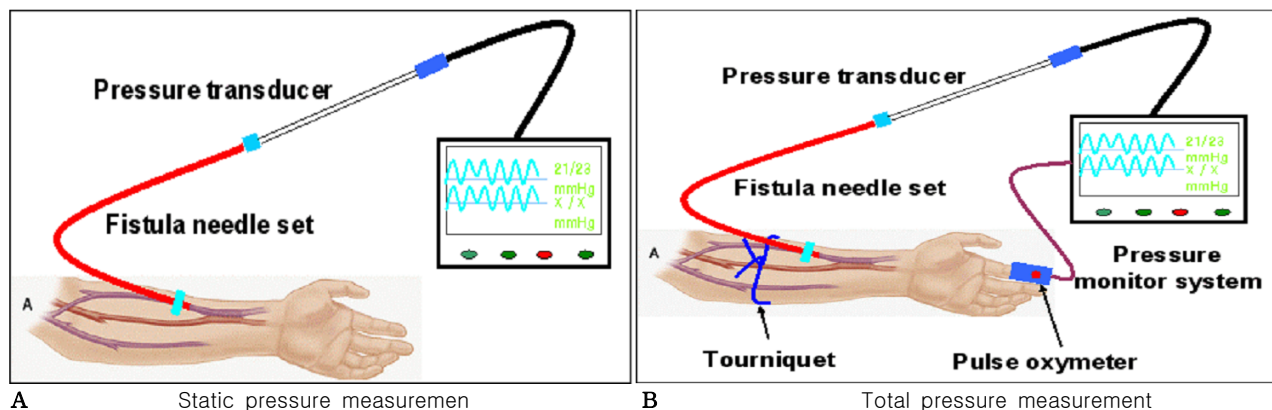


Fig. 1. Schematic drawings of intra-access static and total pressure measurement.

이후의 유출 혈관 중 상-하위의 정맥과 비교하여 50% 이상의 협착 소견 (Vs)을 보인 환자는 모두 9명 (19.5%)이었다. 동맥 측 천자 부위 이전의 유입 혈관 중 영양 동맥과 비교하여 50% 이상의 협착 소견 (As)을 보인 환자는 모두 12명 (26.1%)이었다. 2명 (4.3%)의 환자에서는 Vs와 As의 소견을 동시에 가지고 있었다. 나머지 27명 (58.7%)의 환자에서는 50% 이상의 임상적으로 유의한 혈관 협착 소견을 발견할 수 없었다.

3. 유입 및 유출 혈관의 협착과 p_T/MAP ratio 및 ΔP의 비교

Vs가 없는 37명의 환자 중 As가 있는 10명의 환자에서는 p_T/MAP ratio가 통계적으로 유의하게 낮았으며 (p=0.001), ΔP도 유의하게 낮게 측정되었다 (p=0.014). As가 없는 34명의 환자 중 Vs가 있는 7명의 환자에서는 ΔP가 통계적으로 유의하게 낮았으나 (p=0.001), p_T/MAP ratio는 차이가

없었다 (p=0.372, Table 1, Fig. 2).

As와 Vs를 모두 가지고 있던 2명의 환자에서는 p_T/MAP ratio 및 ΔP가 각각 0.82, 0.76 및 23.7 mmHg, 20.4 mmHg로 모두 낮게 측정되었다.

4. 동정맥루 형태에 따른 p_s, p_T, ΔP 및 p_T/MAP ratio의 비교

동정맥루의 형태 중 요골동맥을 이용한 32 (69.6%)명의 환자와 상완동맥을 이용한 14 (30.4%)명의 환자에서 p_s, p_T 및 p_T/MAP ratio는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으나 (p<0.05), ΔP는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (p=0.606, Table 3).

As와 Vs가 모두 없었던 27 (58.7%)명의 환자를 대상으로 요골동맥을 이용한 내동정맥루와 상완동맥을 이용한 동정맥루를 비교한 결과 p_s, p_T 및 ΔP는 차이가 없었으나 (p>0.05), p_T/MAP ratio는 통계적으로 유의한 차이가 있었다

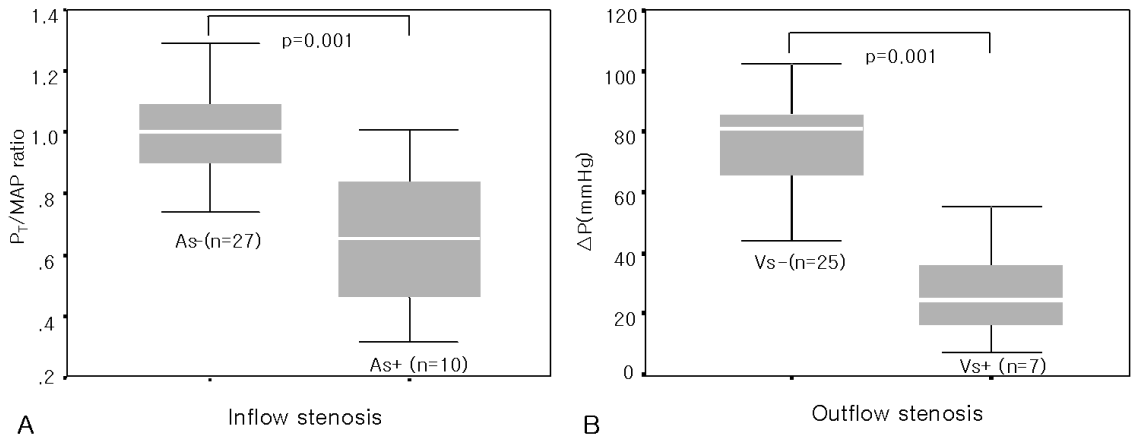


Fig. 2. Graphic comparisons of p_T/MAP ratio and Δp according to the vascular stenosis (A, inflow stenosis; B, outflow stenosis).

Table 1. Comparisons of Intra-access Pressures according to the Vascular Stenosis

	Patients without Vs (n=37)			Patients without As (n=34)		
	As- (n=27)	As+ (n=10)	p-value	As- (n=27)	As+ (n=7)	p-value
p _T	99.3±18.8	75.4±31.1	0.007	99.3±18.8	111.5±16.0	0.124
p _s	26.4±9.46	23.1±4.24	0.296	26.4±9.46	84.5±24.4	0.001
p _T /MAP ratio	0.97±0.15	0.65±0.21	0.001	0.97±0.15	1.04±0.19	0.372
Δp (mmHg)	73.4±18.2	52.3±30.4	0.014	73.3±18.1	27.3±16.8	0.001

Abbreviations : Vs, outflow stenosis; As, inflow stenosis; p_T, total pressure; p_s, static pressure; pΔ, p_T-p_s

(p=0.027).

5. 유입 및 유출 혈관의 협착에 따른 VDP 및 SIAPR의 측정 결과

Vs가 있는 9명의 환자에서 VDP는 평균 108.9±21.6 mmHg로 Vs가 없는 37명의 환자에서의 88.8±37.7 mmHg에 비해 높게 나타났으나 통계적 유의성은 없었다 (p=0.142). 또한 이들 9명의 환자 중 VDP가 125 mmHg 이상의 압력을 보인 경우는 2명 (22.2%) 뿐이었으며, Vs가 없는 37명의 환자 중 4명에서도 VDP가 125 mmHg 이상이였다.

Vs가 없는 37명의 환자 중 As가 있는 10명의 환자에서는 SIAPR는 평균 0.21±0.36 (0.16-0.26)으로 Vs와 As가 모두 없는 27명의 환자의 0.26±0.10 (0.15-0.53)과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 (p=0.11), As가 있는 환자들은 모두 NKF-K/DOQI guideline에서 자가혈관 동정맥루의 동맥 측 협착을 의심할 수 있는 동맥 측 SIAPR의 기준인 0.13 이하에 합당하지 않고 모두 정상 소견의 범위에 속

해 있었다. 또한 Vs가 있었던 7명의 환자들의 SIAPR의 값은 평균 0.78±0.22로 NKF-K/DOQI guideline에서 자가혈관의 동정맥루에서 정맥 측 협착을 의심할 수 있는 SIAPR의 기준(>0.43) 보다 높았으나 한 명의 환자에서는 0.38로 정상 소견의 범위에 속해 있었다. Vs와 As가 모두 없는 27명의 환자들 중 NKF-K/DOQI guideline이 제시한 협착이 없는 SIAPR의 범위에 속한 환자는 25명이었으며, 2명의 환자에서는 0.43 이상인 Vs소견을 의심 할 수 있는 결과를 보였다 (Table 2).

고 찰

혈액투석을 위한 동정맥루는 단순히 조성만으로 모든 문제가 해결 되는 것이 아니고, 장기적 개존율을 유지하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 혈관의 협착에 의한 혈전 형성을 미리 진단할 수 있는 진단 방법과 정기적인 평가가 필수적이다¹⁾. 문헌에 의하면 여러 가지 진단 방법들이 동원되고 있으나, 실제 임상 적용에서 크고 작은 문제점들을 내포하고 있다.

1992년 Besarab 등¹⁷⁾은 투석 중 펌프를 정지시켜 동맥 측 투석관 내 혈류를 차단하고, 정맥 측 투석관을 정맥 챔버 전에서 검자로 차단하여 혈류를 정지시킨 후 별도의 압력계를 장치하여 동정맥루 내 정압 (static intra-access pressure; SIAP)을 측정하는 방법을 발표하였다. 그리고 환자의 반대편 상완에서 측정한 MAP으로 나누어 표준화하여, 동정맥루 내 정압비 (static intra-access pressure ratio; SIAPR)를 식 ②와 같이 구하였다.

Table 2. Results of VDP and SIAPR Measurement according to the Vascular Stenosis

	As+	Vs+	As+ & Vs+	As- & Vs-
VDP >125 mmHg	0 (0)	2 (22.2)	0 (0)	4 (14.8)
SIAPR				
nl (0.130.43)	10 (100)	1 (14.2)	0 (0)	25 (92.5)
Vs (>0.43)	0 (0)	6 (85.7)	2 (100)	2 (7.4)
As (<0.13)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Abbreviations : Vs, outflow stenosis; As, inflow stenosis; nl, normal; (), percentage of patients number

Table 3. Comparisons of Intra-access Pressures according to the Type of Arteriovenous Fistula

	Radial AVF (n=32)	Brachial AVF (n=14)	p-value
ps (mmHg)	30.5±18.7	49.9±33.3	0.015
pT (mmHg)	90.6±25.0	105.7±18.3	0.028
Δp (mmHg)	61.0±26.1	56.4±31.3	0.606
pT / MAP ratio	0.85±0.21	1.05±0.16	0.003
As+ (%)	9 (28.1)	1 (7.1)	
	As- & Vs- (n=27) Patients		
	Radial AVF (n=19)	Brachial AVF (n=8)	p-value
ps (mmHg)	24.7±7.6	30.4±12.7	0.163
pT (mmHg)	97.2±18.7	104.1±19.4	0.394
Δp (mmHg)	72.9±19.3	74.4±15.9	0.846
pT / MAP ratio	0.93±0.15	1.08±0.11	0.027

Abbreviations: Vs, outflow stenosis; As, inflow stenosis; pT, total pressure; ps, static pressure; Δp, pT-ps

SIAPR=SIAP/MAP

②

NKF-K/DOQI guidelines에도 SIAPR 측정 방법에 대해 기술되어 있으나 이 방법은 투석기에 특수 장치를 부착해야 하고 계산과 해석이 복잡하다. 최근에는 특수 장치의 부착을 간편화하기 위해 Access Alert (Medisystems, Inc., Seattle, WA, USA)가 고안되어 국내에 소개되기도 하였다^{18, 19)}. Access Alert을 사용하면 투석을 중지시킬 필요가 없고, 바늘을 천자하여 즉시 측정할 수 있으며, 압력계의 높이에 대한 보정 없이 동정맥루 내 정압을 환자의 위치에서 측정할 수 있다. 또한, 투석관 등 압력의 측정에 영향을 주는 요소를 배제할 수 있다. 그리고 동맥 및 정맥 측 천자 부위에서 각각 측정된 압력을 통해 동정맥루의 유입 동맥, 중간 정맥, 유출 정맥의 협착 조건을 발견할 수 있다고 한다^{19, 20)}. 그러나 이와 상반되는 연구 보고도 발표되고 있다. Dember 등²¹⁾은 164명의 인조 혈관에 의한 동정맥루로 혈액 투석을 하고 있는 환자를 대상으로 하여 16개월 동안의 SIAPR을 측정된 결과, 이 방법으로는 인조 혈관의 정맥 문합부의 협착이 아닌 인조 혈관 내에 발생한 혈전 형성에 대한 진단이 불가능하다고 보고하였다.

또한, Spergel 등²²⁾은 최근 SIAPR와 혈류량과의 상관관계에 관한 연구 결과를 발표하였다. 그는 동정맥루 혈류량을 Poiseuille 법칙에 의해 수학적으로 해석하여 SIAPR는 혈관 내 전체 저항에 대한 유출 경로의 저항과 상관관계가 있으며, 혈류량과는 상관관계가 없다고 주장하였다. 그러므로 증가된 SIAPR는 정맥 유출로의 협착에 의한 저항 증가에 따른 혈류량 감소에 의해 서도 가능하지만, 기능이 좋은 동정맥루에서도 유입 경로의 저항이 감소하면 발생할 수 있어 SIAPR 만으로는 동정맥루의 기능 부전을 진단할 수 없다고 하였다. 그러나 이 연구에서 혈류량의 측정에 초음파 회석법을 사용하였으며, 이것이 동정맥루의 정확한 혈류량인지는 의문이다²³⁻²⁵⁾.

저자들은 동정맥루의 감시를 위한 이상적인 방법을 개발하고자 여러 가지 실험적 연구들을 진행해 왔다. 초기에는 투석관 내에서 측정된 p_s 과 반대편 상완에서 측정된 MAP를 p_T 로 가정하고 베르누이 정리를 이용하여 투석관 내 혈류량을 측정하였다¹⁴⁾. 그러나 이 방법은 p_T 를 실측하지 않은 점, 즉 유입 혈관에 대한 평가가 없었다는 점에서 SIAPR의 측정에서와 같은 오류를 범하였다¹⁶⁾. 그래서 이번 연구에서는 p_T 를 실측할 수 있는 방법을 개발하여 동정맥루 내에서 p_s 과 p_T 를 각각 측정하였다. 이 측정 방법은 얼핏 보면 SIAP의 측정과 유사한 형태로 보일 수 있다. 그러나, 본 연구 방법은 몇 가

지의 특징을 가지고 있다. 첫째, 환자 감시 장치를 도입하여 정확한 수축기 및 이완기의 압력을 측정할 수 있었다. 동정맥루 내 p_s 는 Table 1과 3에서 보듯이 그리 큰 수치가 아니고, 수축기와 이완기의 압력 차이도 크지 않다. 그리고 심장의 박동에 의해 그 수치가 계속 변화하는 파동류이다. 저자들도 초기 연구에서 여러 가지 종류의 압력계를 도입하여 측정을 시도하였으나, 일반적인 압력계로는 정확한 압력의 측정이 불가능하였다. 둘째, 동정맥루와 환자 감시 장치 사이에 연속 관류 카테터를 연결하였다. 연속 관류 카테터 안에는 생리 식염수를 채우게 되어 있는데, 생리식염수는 공기보다 밀도가 높아 압력에 의해 압축되는 정도가 적어 오차의 발생 가능성이 적다. 또한 이 카테터는 압력에 견디도록 견고한 재질로 제작되어 측정 시의 압력 소실을 최소화 할 수 있다. 셋째, p_T 의 측정을 동정맥루 내에서 하였다라는 점이다. 현재까지 문헌 보고 중 p_T 를 직접 동정맥루 내에서 측정하는 예는 찾을 수 없으며, 정확한 p_T 의 측정은 유입 혈관의 상태를 평가 할 수 있게 한다. 반면, SIAPR는 반대편 상완에서 측정된 평균 동맥압으로 SIAP를 표준화하였기 때문에 저자들의 앞선 연구 결과에서도 나타났듯이 유입 혈관에 대한 평가가 전혀 불가능하다¹⁶⁾. 넷째, Besarab 등¹⁸⁾도 Access Alert를 이용한 SIAPR의 측정에서 베르누이 정리를 언급한 바 있으나 정확한 이론적 적용은 아니었다. 본 연구에서는 동정맥루에서 측정된 압력의 표준화에 베르누이 정리를 이용하여, p_T 과 p_s 의 차이를 구해 비교하였으며, 이는 동정맥루의 혈류량과 관련 된다고 생각 된다. 다섯째, 동정맥루 내에서 측정하여 표준화한 p_s 과 p_T 를 혈관조영술 결과와 비교하여 연관성을 찾고자 하였다. 혈관조영술은 침습적인 방법이지만, 현재까지 알려진 동정맥루 감시 방법 중 혈관 협착의 진단에 가장 경제적이면서도 정확한 진단 방법으로 생각되고 있다. 그리고 지금까지 아무런 임상적 적응증을 가지지 않는 상태에서 46명의 환자의 동정맥루에서 혈관조영술을 시행한 결과에 대한 보고는 없었다.

저자들이 사용한 압력 측정 방법은 현재까지 발표된 바 없었던 새로운 측정 방법이다. 본 연구에서 동정맥루의 바늘 천자와 압력의 측정은 모두 숙련된 한 사람의 간호사에 의해 이루어 졌으나, 특별한 훈련이 필요하지는 않았다. 투석 시작 시 동정맥루 천자 시간을 제외하고 p_s 와 p_T 의 측정에 소요된 시간은 한 명의 환자 당 약 2-3분이 소요되었다. 본 연구 방법은 혈액 투석 시에 측정하므로 많은 시간이 필요하지 않고, 장소에 제한이 없어 편리하다. p_T 의 측정을 위해 동정맥루를 절찰한 시간은 약 30초 정도로, 동정맥루 천자를 위해 지혈대

를 사용하는 경우보다 길지 않았으며, 연구 대상 중 동정맥루 결찰에 의해 혈전이 형성된 경우는 없었다.

본 연구 결과에서 Vs가 있었던 환자 군에서 ΔP 가 통계적으로 유의하게 낮았으나, p_s 역시 유의하게 높게 측정되었다. 그러므로 유출 정맥의 협착 소견의 진단에 두 가지의 측정값이 모두 유용하다고 생각될 수 있다. 그러나, p_s 의 증가만으로는 유출 정맥에 협착이 발생한 것인지, 환자의 혈압이 증가한 것인지, 혹은 유입 혈관의 저항 감소로 인한 것인지 구별하지 못한다. 그러므로 유출 정맥의 협착을 진단하기 위해서는 정확한 p_T 와 p_s 의 측정에 의한 ΔP 가 유용할 것으로 생각된다. As가 있었던 환자 군에서 p_T /MAP ratio 뿐만 아니라 ΔP 도 통계적으로 유의하게 낮은 측정값을 나타냈다. 그 원인은 유입 혈관의 협착에 의해 동정맥루 내로 낮은 압력이 전달되었기 때문인 것으로 생각된다. 이 결과는 ΔP 가 단순한 압력의 차이만이 아니고 동정맥루의 혈류량을 결정하는 지표라는 증거가 된다. 그러므로 p_T 와 p_s 의 정확한 측정이 가능하면, ΔP 만으로도 유출 정맥의 협착 소견 뿐만 아니라, 유입 혈관의 협착의 진단에도 충분한 가치를 가질 것으로 생각된다. 그러나 아직까지 임상적 의의가 있는 유입 혈관 및 유출 혈관의 협착에 대한 p_T /MAP ratio 및 ΔP 의 진단적 기준이 확립되어 있지 않아 향후 장기간의 경향 분석과 혈관조영술과의 비교 연구가 필요하다.

도플러 초음파를 이용한 동정맥루의 혈류량 측정에서 상완동맥을 이용한 동정맥루의 경우 요골동맥을 이용한 경우보다 혈류량이 높다고 보고 되고 있으며¹⁾, 저자들의 투석관 내 혈류량 측정에 관한 연구 보고에서도 요골동맥을 이용한 경우와 상완동맥을 이용한 내동정맥루의 경우 p_s 가 통계적으로 유의한 차이를 보이므로, 환자 내의 비교가 아닌 환자 사이의 비교를 위해서는 두 군간의 p_s 측정값의 보정이 필요할 것이라고 발표하였다¹⁴⁾. 이번 연구에서도 요골동맥을 이용한 환자 군과 상완동맥을 이용한 환자 군 사이에 p_s 가 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 ($p=0.015$), ΔP 는 차이가 없었다 ($p=0.606$). 또한, p_T 및 p_T /MAP ratio가 통계적으로 차이가 있었다 ($p<0.005$). 이와 같은 결과는 이전의 연구에서는 정확한 p_T 의 측정이 없이 반대편 상완에서 측정된 MAP로 p_T 를 가정하여, 요골동맥을 이용한 경우에 상완동맥에 비해 As의 발생이 많은 것을 고려하지 못하였기 때문으로 생각된다. 즉, 유입 혈관에 대한 평가가 전혀 되지 못했다. 그래서 As와 Vs가 모두 없었던 27명의 환자를 대상으로 요골동맥과 상완동맥을 이용한 경우를 나누어 p_s , p_T 와 ΔP 를 각각 비교한 결과 모두 차이가 없었다 ($p>0.05$) (Table 2). 이 결과는 정

확한 p_T 의 측정이 동정맥루의 혈류량을 반영하는 압력인 ΔP 의 계산에 필수적이라는 것을 시사하는 것이다. 그러나 두 군에서의 p_T /MAP ratio의 통계적으로 유의한 차이는 아직 정확히 설명하기는 어려우며, 아마도 요골동맥을 이용한 군에서도 상완동맥에서 측정된 MAP로 p_T 를 나누어 표준화한 때문으로 생각된다.

요 약

목적: 동정맥루의 혈류감시를 위해 동정맥루 내 정압과 전압을 측정하고, 평균 동맥압을 이용하여 표준화 하였고, 이 결과를 혈관조영술에 의한 혈관의 협착 유무와 비교하였다. 본 연구의 목적은 동정맥루 내의 압력과 혈관조영술에 의한 혈관의 협착 유무를 비교하여, 본 연구 방법의 임상적 의의를 확인하고자 함이다.

방법: 자가 혈관으로 조성된 동정맥루로 혈액투석을 하고 있는 환자 46명을 대상으로, 혈액투석 시작 전 혈액 투석용 바늘로 동맥 측 천자를 한 후, 그 말단에서 전압 (P_T)과 정압 (P_s)을 측정하였다. P_T 와 P_s 차이 (ΔP)와 P_T 와 평균 동맥압의 비 (P_T /MAP ratio)를 각각 계산 하였다. 동시에 혈관조영술을 시행하여 동정맥루의 동맥 측 천자 부위 이전 (As)과 이후 부위 (Vs)의 협착 정도를 pixel로 측정하여 50% 이상일 경우 임상적 의미가 있다고 판정하였고, 의미 있는 협착이 있는 군과 없는 군 사이의 P_T /MAP ratio와 ΔP 를 비교하였다.

결과: Vs가 없었던 37명의 환자에서 As가 50% 이상인 환자 (10명)의 P_T /MAP ratio는 평균 0.65 ± 0.21 로 As가 50% 이하이거나 관찰되지 않은 환자 (27명)의 0.97 ± 0.15 에 비해 유의하게 낮았다 ($p=0.001$). ΔP 도 각각 평균 52.3 ± 30.4 mmHg와 73.4 ± 30.4 mmHg로 유의한 통계적 차이를 보였다 ($p=0.014$). As가 없는 34명의 환자 중 Vs가 50% 이상인 환자 (7명)에서 ΔP 는 평균 27.3 ± 16.8 mmHg로 Vs가 50% 이하이거나 관찰되지 않은 환자 (27명)의 73.3 ± 18.1 mmHg에 비해 유의한 통계적 차이가 있었다 ($p=0.001$).

결론: 동정맥루 내에서 측정된 P_T /MAP ratio는 유입 혈관 (동맥, 문합부 혹은 주위 정맥)의 협착 소견을, ΔP (P_T-P_s)는 유출 정맥의 협착 소견을 각각 반영하며, 감소된 P_T /MAP ratio로 유입 혈관의 협착을, 감소된 ΔP 로는 유출 정맥의 협착을 진단할 수 있다.

중심 단어 : 동정맥루, 협착, 압력, 혈관 조영술

참 고 문 헌

- 1) III. K/DOQI Clinical practice guidelines for vascular access: update 2000. *Am J Kidney Dis* 37: S137-S181, 2001
- 2) Schwab SJ, Raymond JR, Saeed M, Newman GE, Dennis PA, Bollinger RR: Prevention of hemodialysis fistula thrombosis. Early detection of venous stenoses. *Kidney Int* 36:707-711, 1989
- 3) Besarab A, Sullivan KL, Ross RP, Moritz MJ: Utility of intra-access pressure monitoring in detecting and correcting venous outlet stenosis prior to thrombosis. *Kidney Int* 47:1364-1373, 1995
- 4) Sands JJ, Miranda CL: Prolongation of hemodialysis access survival with elective revision. *Clin Nephrol* 44:329-333, 1995
- 5) Barril G, Besada E, Cirugeda A, Perpen AF, Selgas R. Hemodialysis vascular assessment by an ultrasound dilution methods (transonic) in patients older than 65 years. *Int Urol Nephrol* 32:459-462, 2001
- 6) Safa AA, Valji K, Roberts AC, Ziegler TW, Hye RJ, Ogleivie SB: Detection and treatment of dysfunctional hemodialysis access grafts: effect of surveillance program on graft patency and the incidence of thrombosis. *Radiology* 199:653-657, 1996
- 7) McCarley P, Wingard RL, Shyr Y, Pettus W, Hakim RM, Ikizler TA: Vascular access blood flow monitoring reduces access morbidity and costs. *Kidney Int* 60:1164-1172, 2001
- 8) Krivitski NM, Gantela S: Access flow measurement as a predictor of hemodialysis graft thrombosis: making clinical decisions. *Semin Dial* 14: 181-185, 2001
- 9) Paulson WD: Blood flow surveillance of hemodialysis grafts and the dysfunction hypothesis. *Semin Dial* 14:175-180, 2001
- 10) Krivitski NM: Theory and validation of access flow measurement by dilution technique during hemodialysis. *Kidney Int* 48:244-250, 1995
- 11) Frinak S, Zasuwa G, Dunfee T, Besarab A, Yee J: Dynamic venous access pressure ratio test for hemodialysis access monitoring. *Am J Kidney Dis* 40:760-768, 2002
- 12) Strauch BS, OConnell RS, Geoly KL, Grundlehner M, Yakub YN, Tietjen DP: Forecasting Thrombosis of vascular access with Doppler color flow imaging. *Am J Kidney Dis* 19:554-557, 1992
- 13) Finlay DE, Longley DG, Foshager MC, Letourneau JG: Duplex and color Doppler sonography of hemodialysis arteriovenous fistulas and grafts. *Radiographics* 13:983-989, 1993
- 14) Lee JH, Song SY, Cho HK, Yoon SY, Yang SJ, Huh KH, Kim SI, Kim YS, Park K: Development of simple flow measurement in the vascular access conduit based on the Bernoulli's theory. *J Korean Soc Vasc Surg* 20:115-124, 2004
- 15) Lee JH, Huh KH, Kim YS, Cho HE, Park K: Flow measurement in the vascular access conduit: an ex vivo experimental model. *J Korean Surg Soc* 68:253-257, 2005
- 16) Lee JH, Yoon SY, Cho HK, Song SY, Yang SJ, Ahn HJ, Cho HE, Kim YS, Park K: Flow measurement in the hemodialysis vascular conduit for surveillance of internal arteriovenous fistula: a trend analysis. *J Korean Surg Soc* 71:139-144, 2006
- 17) Besarab A, Moritz M, Sullivan K, Dorrell S, Price JJ: Venous access pressures and the detection of intra-access stenosis. *ASAIO J* 38:M519-523, 1992
- 18) Besarab A, Frinak S, Sherman RA, Goldman J, Dumler F, Devita MV, Kapoian T, Al-Saghir F, Lubkowski T: Simplified measurement of intra-access pressure. *J Am Soc Nephrol* 9:284-289, 1998
- 19) Jung HW, Kim YO, Song WJ, Kim YS, Yoon SA, Kim BS, Song HC, Kim SY, Choi EJ, Chang YS, Bang BK: Static venous pressure measurement by Access Alert in detecting vascular access stenosis. *Korean J Nephrol* 25:61-68, 2006
- 20) Kleinekofort W, Kraemer M, Rode C, Wizemann V: Extracorporeal pressure monitoring and the detection of vascular access stenosis. *Int J Artif Organs* 25:45-50, 2002
- 21) Dember LM, Holmberg EF, Kaufman JS: Value of static venous pressure for predicting arteriovenous graft thrombosis. *Kidney Int* 61:1899-1904, 2002
- 22) Spergel LM, Holland JE, Fadem SZ, McAllister CJ, Peacock EJ: Static intra-access pressure ratio does not correlate with access blood flow. *Kidney Int* 66:1512-1516, 2004
- 23) Work J: Does vascular access monitoring work? *Adv Ren Replace Ther* 9:85-90, 2002
- 24) Garland JS, Moist LM, Lindsay RM: Are hemo-

dialysis access flow measurements by ultrasound dilution the standard of care for access surveillance? *Adv Ren Replace Ther* 9:91-98, 2002

25) Shahin H, Reddy G, Sharafuddin M, Katz D,

Franzwa BS, Dixon BS: Monthly access flow monitoring with increased prophylactic angioplasty did not improve fistula patency. *Kidney Int* 68:2352-2361, 2005