

혈액투석 유지요법 환자에서 투석 전후의 좌심실 Doppler 심초음파를 이용한 기능지표의 변화

성균관대학교 의과대학 마산삼성병원 내과학교실, 영남대학교 의과대학 내과학교실*

강동오 · 이두하 · 김현서 · 김현수 · 김성록 · 박종선*

Impact of Hemodialysis on Left Ventricular Performance: A Doppler Echocardiographic Study

Dong Oh Kang, Du Ha Lee, Hyun Seo Kim
Hyun Su Kim, Sung Rok Kim

Department of Internal Medicine, Masan Samsung Hospital
College of Medicine, Sungkyunkwan University, Masan, Korea

Jong Seon Park

Department of Internal Medicine
College of Medicine, Yeungnam University, Taegu, Korea

- Abstract -

Background: Left ventricular diastolic filling is an important determinant for maintenance of cardiac output during hemodialysis. Few investigators have studied the influence of hemodialysis on diastolic function. To evaluate the change of left ventricular systolic and diastolic function, we performed M-mode and Doppler echocardiographic studies before and after hemodialysis.

Methods: The study population consisted of 30 patients(15 patients were male, mean age 45 ± 10 years) with CRF on maintenance hemodialysis. They have normal left ventricular systolic function(Fractional shortening $> 30\%$) and no evidence of valvular heart disease or regional wall motion abnormalities. The ejection fraction(EF) was measured using M-mode echocardiography and Doppler indices such as peak E velocity, peak A velocity, isovolumetric relaxaion time(IVRT), deceleration time(DT), and left ventricular ejection time(LVET) obtained from Doppler echocardiography. The index of myocardial performance (IMP) was calculated from each of the Doppler velocity indices.

Results: The weight reduction after hemodialysis was 2.1 ± 1.0 kg($p < 0.0001$). After

hemodialysis, there was some decrease in blood pressure($p<0.05$), but no significant change in heart rate, EF and fractional shortening, mean VCF, peak A velocity, and DT. And significant reduction in peak E velocity, E/A ratio($p<0.0001$, $p<0.001$), and significant increase in IVRT and IMP($p<0.05$, $p<0.0001$) were noted.

Conclusion: In conclusion, preload reduction is the main mechanism that accounts for changes in Doppler diastolic indices after hemodialysis. And an increased IMP suggests that diastolic function may be aggravated after hemodialysis, and that implies impaired left ventricular filling and disturbed left ventricular compliance.

Key Words: Diastolic left ventricular function, Hemodialysis, Doppler echocardiography

서 론

말기 신부전증 환자에서 심혈관계 질환은 사망의 가장 많은 원인으로 알려져 있으며(Burton 등, 1971), 관상동맥 질환, 고혈압, 요독성 심근병증, 심낭염, 부정맥 등이 원인이며, 특히 좌심실 비대, 심부전증이 가장 흔히 보이는 합병증으로서 만성신부전일 때 동반되는 용적 과부하, 빈혈, 고혈압, 요독소, 수분과 전해질의 불균형 등이 복합적으로 작용하여 나타난다고 생각된다. 지속적인 혈액투석을 하고 있는 환자에서 심초음파도 검사 상에는 정상적인 좌심실 수축기능을 가지나 임상적으로는 심부전증의 소견을 보이는 환자가 많은데(Hutchinson 등, 1982), 이는 좌심실의 이완기능 장애에 기인한다는 보고가(Wizemann 등, 1988) 있었다. 또한 혈액투석 후 급격한 혈액량의 변화가 생기므로 적절한 심박출량을 유지하기 위하여 좌심실의 이완기능이 중요한 인자로 작용하는 것으로 알려져 있다. 따라서 혈액투석을 받고 있는 만성 신부전증 환자에서 좌심실 이완기 기능에 관한 많은 연구가(Ruffmann 등, 1990) 있었고, 또한 좌심실의 기능변화를 조기에 발견하기 위해 이완기능에 관한 관혈적(Ishida 등, 1986) 및 비관혈적인 연구가(Punzengruber 등, 1989) 진행 되었다. 혈액투석 전후의 좌심실 이완기능 지표 변화에 관한 연구가 보고되었지만, 만성신부전증에서 좌심실의 기능과 형태적 변화의 다양성으로 인해 결과를 상이하게 보고하고(Hanrath 등, 1980; Rozich 등, 1991; Sadler 등, 1992; Gupta 등, 1993) 있다.

이에 저자들은 혈액투석이 좌심실의 수축 및 이완기능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Doppler 심초음파도 지표들을 이용해 투석 전후에 좌심실 수축 및 이완기능의 변화를 비교분석 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

1997년 7월부터 1998년 7월까지 성균관대학교 의과대학 마산삼성병원 내과에서 혈액투석 요법을 최소한 3개월 이상 안정적으로 받고 있는 만성 신부전증 환자 중 심초음파도 검사상 좌심실 수축기능부전이 없고(Fractional shortening $> 30\%$), 심전도 검사가 정상 리듬이며, 심장 판막질환이나 심근 국소벽 운동장애가 없고, 원발성 심근병증이 의심되거나 중등도 이상의 심낭 삼출이 있는 환자를 제외한 30명을 대상으로 하였다. 연령은 45 ± 10 세(범위 19-70세)였고, 성별은 남자 15명, 여자 15명이었다. 이들의 혈액투석기간은 6개월에서 120개월(평균 51개월) 이었고, 주당 2-3회의 투석을 시행받고 있었다. 대상환자는 모두 강암제 약물을 투여받고 있었으며, 만성 신부전증의 원인질환으로는 고혈압성 신증 10명, 사구체 신염 11명, 당뇨병성 신증이 7명, 원인불명이 2명이었다.

2. 방법

혈액투석을 시작하기 전 혈압을 측정하고 이면성 심초음파도 검사를 시행하여 대상군에 적합한지를 판

정하고, 대상군에 적합하면 혈액투석전과 후의 M형 심초음파도 및 Doppler 검사를 시행하였다. 심초음파도 검사는 SONOS 1000(Hewlett Packard, USA)을 사용하였고, 환자를 좌측 양와위로 눕히고 2.5MHz 탐촉자를 이용해 M형 심초음파도와 이면성 심초음파도로 흉골연 장축 및 단축 단면도를 관찰 기록하고 심첨 4방 및 5방에서 Doppler 검사를 시행하였다. 심초음파도에 의한 좌심실 이완기말 내경, 수축기말 내경, 좌심방의 내경, 심실 중격 및 좌심실 후벽 두께의 계측은 흉골연 단축 단면도에서 M형 심초음파도를 이용하여 50mm/sec의 속도로 기록하고 미국 심초음파 학회에서 권장하는 방법으로 계측 하였다. 좌심실 구혈율은 Teichholz 공식 (Teichholz 등, 1976)을 이용해 구하고 Fractional shortening(FS) 및 mean VCF(Velocity of Circumferential shortening)는 다음과 같은 공식으로 산출하였다.

$$\text{Fractional shortening (\%)} = [(\text{좌심실 이완기말 내경}) - (\text{좌심실 수축기말 내경})] / (\text{좌심실 이완기말 내경}) \times 100$$

$$\text{mean VCF (Velocity of Circumferential shortening)} = [(\text{좌심실 이완기말 내경}) - (\text{좌심실 수축기말 내경})] / [(\text{좌심실 이완기말 내경}) \times (\text{좌심실 수축기 시간})]$$

좌심실 비대 유형은 좌심실 질량과 좌심실 후벽의 상대적 두께를 고려하여 Koren 등(1991)의 기준을 사용해 정상 좌심실군, 동심성 비대군, 편심성 비대군으로 분류하였다. 이완기 승모판 혈류의 측정 방법으로는 심첨 4방에서 Doppler sample volume을 확장기 승모판의 끝에 위치시킨 후 맥파 Doppler를 이용하여 측정하였고 100mm/sec의 속도로 기록하고 연속된 4회의 값을 측정해 평균값을 구했다. 이완기 기능의 지표는 Doppler 심초음파도에서 승모판막 혈류의 조기 이완기 최대 혈류속도(peak E velocity), 심낭 수축시 최대 혈류속도(peak A velocity)를 측정하고 E/A ratio와 조기 이완기 혈류의 감속시간(Deceleration Time: DT) 및 등용적 이완 시간(Isovolumic Relaxation Time: IVRT)과 좌심실 수축기 시간(LV Ejection Time: LVET)을 구하였다. 수축기 및 이완기 기능을 모두 반영한다는 지표인 Index

of Myocardial Performance(IMP)는 Tei 등(1995)이 제시한 방법으로 구했으며, $\text{IMP} = (\text{IVCT} + \text{IVRT}) / \text{LVET}$ 의 공식을 반영하도록 Doppler 심초음파도를 이용해 구했다(그림 1).

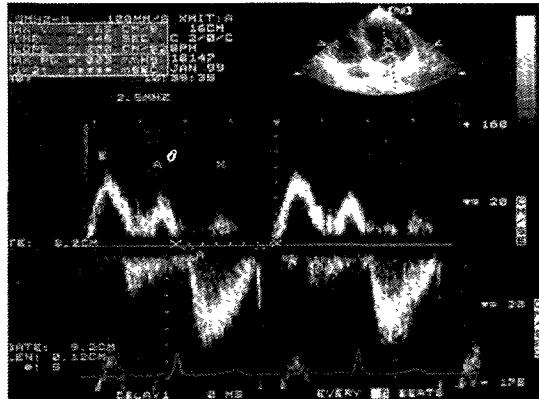


Fig. 1. Pulsed wave Doppler recording of transmural inflow velocity and left ventricular outflow velocity. E=peak velocity of the diastolic filling wave. A=peak late velocity (atrial systole). LVET=left ventricular ejection time. The index of myocardial performance(IMP) = (X-LVET)/LVET = (IVCT+IVRT)/LVET. The IMP of this patient is about 0.413.

성 적

1. 일반적 특성

혈액투석은 평균 4.0 ± 0.1 시간 시행하였고, 혈액투석을 통해 체중은 평균 $2.1 \pm 1.0\text{kg}$ 의 감소가 생겼으며, 맥박은 투석 후 약간 증가하는 소견을 보였으나 통계적 유의성은 없었고, 혈압은 수축기 혈압 및 이완기 혈압의 감소가 있었으며, 혈액투석 도중 저혈압이 발생한 환자가 1명 있었다(표 1).

2. 대상환자의 심초음파 소견

30명의 환자 중 이면성 심초음파 검사상 소량 및 경도의 심낭 삼출을 보인 환자가 13명이었고, 경한 승모판막 역류증이 17명, 삼첨판막 역류증이 16명, 대동맥 판막 역류증이 7명, 폐동맥 판막 역류증을 보인 환자가 6명이었다.

M형 심초음파도상에 30명 중 24명(80%)에서 좌

Table 1. Clinical patient characteristics

Parameter	Pre-dialysis	Post-dialysis	P value
Age (yr)	45 ± 10		
Body weight (kg)	54.6 ± 7.0	52.5 ± 6.9	<0.0001
Dur. of CRF (yr)	5.7 ± 3.2		
Dur. of Hemodialysis (mo)	51.5 ± 37.5		
Blood pressure (mmHg)			
Systolic	163.8 ± 15.4	152.6 ± 22.3	<0.05
Diastolic	98.4 ± 6.8	90.4 ± 13.2	<0.05
Mean	120.2 ± 8.9	111.1 ± 15.0	<0.05
Heart rate (bpm)	72.5 ± 12.1	74.0 ± 13.1	NS

Dur:duration, CRF:chronic renal failure, bpm:beats per minutes

NS:not significant

Table 2. Echocardiographic parameters before & after hemodialysis

Parameter	Pre-dialysis	Post-dialysis	P value
LAD (mm)	44.1 ± 0.4	41.3 ± 0.5	<0.001
LVDd (mm)	53.5 ± 0.3	51.9 ± 0.5	<0.05
LVDs (mm)	33.9 ± 0.3	34.0 ± 0.3	NS
IVST (mm)	13.7 ± 0.3	13.6 ± 0.3	NS
PWT (mm)	12.4 ± 0.2	12.0 ± 0.2	NS
LV mass index (g/m ²)	192.5 ± 48.4	189.7 ± 45.9	NS
Radius/Thickness ratio	4.3 ± 0.9	4.2 ± 0.6	NS
Fractional shortening (%)	37.0 ± 3.8	36.5 ± 3.9	NS
EF (%)	59.4 ± 10.9	59.2 ± 10.4	NS
C.I (L/min/m ²)	4.38 ± 1.65	4.38 ± 1.75	NS
mean VCF (cir/sec)	1.15 ± 0.13	1.22 ± 0.18	NS

LAD:left atrial diameter, LVDd:left ventricular end-diastolic diameter, LVDs:left ventricular endsystolic diameter, IVST:interventricular septal thickness, PWT:posterior left ventricular wall thickness, EF:ejection fraction, C.I:cardiac index, VCF:velocity of circumferential shortening
NS:not significant

심실 비대가 관찰되었고, 이중 편심성 비대가 13명, 동심성 비대가 11명이었고 동심성 개형(Concentric remodeling)은 없었다. 투석 도중 저혈압이 발생한 환자는 동심성 비대증을 가진 이완기능장애 환자였다.

3. 혈액투석 후 좌심방 및 좌심실 크기의 변화

혈액투석 후 좌심방 및 좌심실 확장기 내경의 크기가 감소했으나 좌심실 수축기 내경의 크기는 변화가 없었고, 심실증격 및 좌심실 후벽의 두께는 변화가 없었다.

4. 혈액투석 후 좌심실 수축기능지표의 변화

혈액투석 후 fractional shortening, 좌심실

구혈율, 좌심실 박출지수, mean VCF의 변화는 보이지 않아 혈액투석으로 인한 좌심실 수축지표의 변화는 관찰되지 않았다(표 2).

5. 혈액투석 후 Doppler 이완기능지표의 변화

이완기능의 형태에 따라 분류하면 정상이 4명, relaxation abnormality가 13명, pseudonormal이 5명, restrictive pattern이 8명이었다. 혈액투석 후 좌심실 이완기능지표의 변화로서 peak E velocity는 현저히 감소하였고, peak A velocity의 변화는 통계적 유의성이 없었다. E/A ratio가 감소하였고, IVRT의 증가가 있었으나, DT의 변화는 없었다(표 3).

Table 3. Doppler parameters before & after hemodialysis

Parameter	Predialysis	Postdialysis	P value
peak E velocity(cm/s)	102.7 ± 24.6	78.6 ± 23.8	<0.0001
peak A velocity(cm/s)	81.4 ± 15.2	76.3 ± 18.8	NS
E/A ratio	1.29 ± 0.37	1.01 ± 0.28	<0.001
IVCT(ms)	44.4 ± 27.12	52.6 ± 34.8	NS
IVRT(ms)	94.5 ± 20.4	103.1 ± 23.9	<0.05
DT(ms)	212.1 ± 41.8	236.7 ± 55.7	NS
LVET(ms)	320.2 ± 25.1	282.8 ± 25.3	<0.0001
IMP	0.465± 0.097	0.581± 0.120	<0.0001

IVCT: isovolumic contraction time, IVRT: isovolumic relaxation time, DT: deceleration time of peak E velocity, LVET:left ventricular ejection time, IMP:index of myocardial performance = (IVCT+IVRT)/LVET, NS:not significant

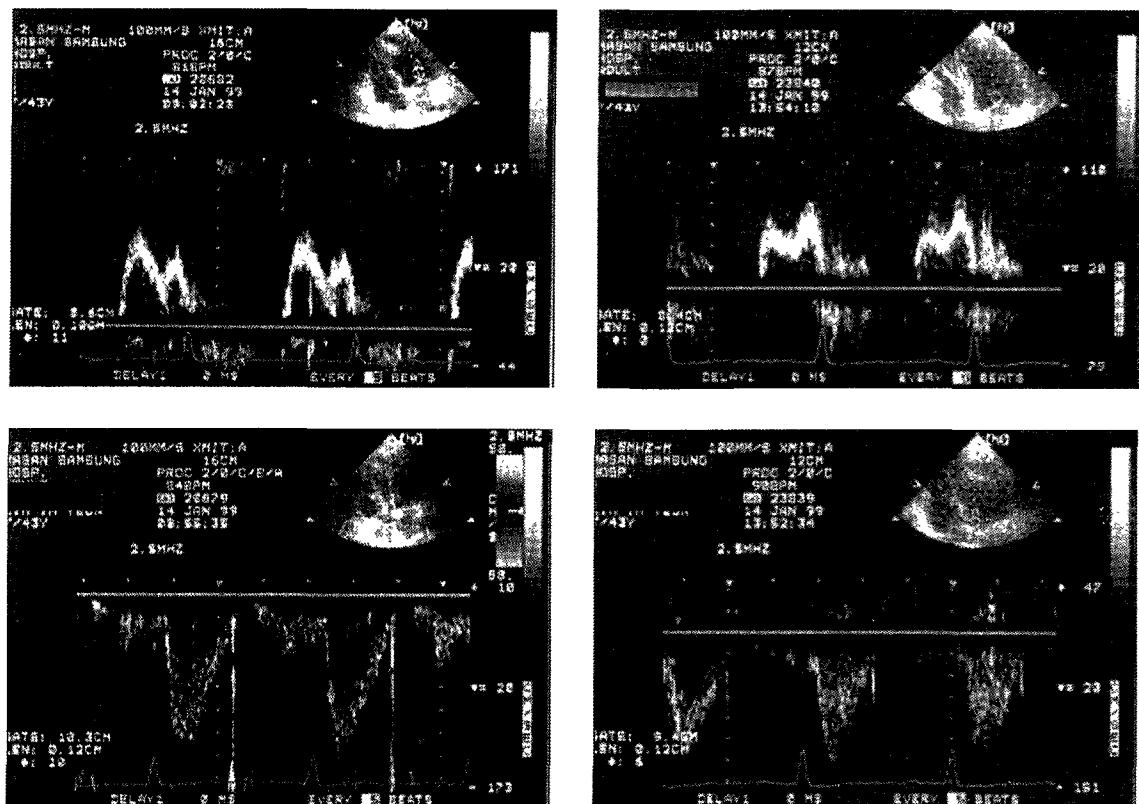


Fig. 2. Transmitral inflow and left ventricular outflow recorded from the same patient before(left) and after(right) hemodialysis. The E-wave velocity was reduced substantially following hemodialysis(from 101cm/s to 70cm/s), whereas A-wave velocity was only slightly changed(from 80.8cm/s to 82.8cm/s). The left ventricular ejection time was reduced after hemodialysis(from 305ms to 260ms), and the IMP was increased(from 0.377 to 0.654).

수축기 및 이완기 기능 지표로 사용되는 IMP는 LVET의 증가와 함께 현저히 증가되었다(그림 2).

고 찰

심부전증 환자의 약 1/3에서는 좌심실 구혈율이 정상이면서 이완기 장애만(Tei 등, 1995) 나타나 좌심실 이완기능에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 혈액투석중인 만성신부전 환자에서 심초음파도 검사상에 좌심실 수축기능이 정상이면서 폐부종등 심부전증의 임상적 증거를 보이는 환자가 많아(Cohen 등, 1979) 좌심실 이완기능에 대한 연구가 많이 있었다. 승모판막의 이완기 혈류 속도 형태에 영향을 미치는 것으로는 좌심실의 이완 속도(Thomas 등, 1991), 좌심방압(Choong 등, 1988), 심박수(Iliceto 등, 1991), 방설 전도 시간(Pearson 등, 1988)등이 있지만, 심박수와 방설 전도 시간은 혈액투석 도중 변화가 없으므로 peak E velocity의 감소는 주로 좌심방압의 감소와 좌심실의 이완기능 장애 두 기전에 의해 결정된다. 혈액투석 도중 좌심방압의 감소는 Kinet 등(1982)이 폐동맥 쇄기압이 12.5mmHg에서 3.1mmHg로 감소하는 것을 관찰한 바 있다. 다른 기전으로서 좌심실의 이완기능 장애의 측면에서는 좌심실 수축기능은 혈액투석에 의해 변화가 없거나 오히려 개선된다는 보고가 있었지만(Hung 등, 1980), 심근 이완기능의 장애가 심근 허혈이나 칼슘 이온의 증가에(Henrich 등, 1984) 의해 발생할 수도 있을 것이나 아직까지 혈액투석이 좌심실 이완기능에 영향을 미친다는 증거는 보고된 바 없다. 따라서 좌심실 이완기능 장애를 완전히 배제할 수 없지만 혈액투석 후 peak E velocity의 감소와 E/A ratio의 감소는 좌심방압의 감소에 기인한 것으로 해석해야 할 것이다. 다만 본 연구에서 보여진 것처럼 좌심실의 수축기 기능과 이완기 기능을 모두 반영한다고 보고되고, 심장 기능 장애가 있을 때 높게 나타난다고 알려진 IMP(Tei 등, 1997)값이 증가한 것은 주목할만한 결과이다. 본 연구에서 IMP 변화를 30명의 환자에서 살펴보면 25명에서 유의한 증가가 있었고 3명에서는 IMP의 변화가 거의 없었고, 2명에서는 감소하였다

(1명은 편심성 비대, 1명은 동심성 비대). 혈액투석 중 1명의 환자에서 저혈압이 발생하였는데 동심성 비대를 가지며 relaxation abnormality를 가진 환자로서 IMP값이 투석전 0.727에서 1.016으로 증가하였다. 따라서 이런 결과는 좌심실 구혈율이나 fractional shortening 등, 수축기능의 변화 없이 투석 후 IMP의 증가가 생겨 이완기능의 장애가 발생한 것을 의미할 수 있다. 하지만 Abraham 등(1975)의 보고에 따르면 혈액투석 후 pre-ejection period의 증가와 LVET의 감소가 생긴 것을 보고했는데 이 결과는 본 연구의 IMP 증가와 같은 결과이다. 이들은 IMP의 증가가 단순히 좌심실 전부하의 급격한 감소에 의해 나타난 것으로, 전부하의 감소와 이에 따른 좌심실 충만의 감소가 Starling 효과에 의해 나타났다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서 체중 감소 정도와 IMP 변화 정도가 상관 관계가 있는지 분석해 보았으나 R=0.03, p>0.05으로 상관 관계가 없는 것으로 나타나 단순히 전부하 감소만이 IMP 증가에 영향을 미쳤다고 해석하기는 어렵다.

혈액투석에 의해 좌심방 충만압이 감소하므로 peak A velocity가 감소할 것으로 예상되었지만 peak A velocity의 유의한 변화는 없었다. 이는 Choong 등이 nitroglycerin 정주 동안 peak E velocity의 감소가 있지만 peak A velocity의 변화는 없었던 것과 유사한 결과이다. 본 연구에서는 A velocity의 변화가 환자 개개인에서 증감이 다양하게 나타나, 이는 좌심방 충만압의 감소와 함께 좌심실의 경직도(stiffness), 좌심방 수축기능 등의 변화가 복합적으로 작용해 일어난 결과로 생각된다(Cohen 등, 1979).

좌심실 비대 유형상 정상인 6명의 환자에서 이완기능 normal인 군이 2명, relaxation abnormality 4명이 포함되어 있고, 편심성 비대 13명 중 이완기능 normal이 2명, relaxation abnormality 3명, pseudonormal 4명, restrictive pattern 4명, 동심성 비대 11명 중 relaxation abnormality 6명, pseudonormal 1명, restrictive pattern 4명으로 나타났고, 좌심실 비대의 정도에 따라 이완기능 장애의 정도를 예측할 수 있을 지에 대한 검정은 대상군의 개체가 너무 적어 통계적 유

의성을 밝힐 수 없었다. 이완기능 형태에 따른 투석 전후의 Doppler 심초음파도 지표의 변화도 또한 개체군이 너무 적고, 환자 개개인에서 다양한 변화를 보여 일정한 규칙을 규명할 수는 없었다.

본 연구의 제한점으로는 요독소나 혈색소, 전해질 등의 좌심실 기능에 영향을 미칠 수 있는 혈액의 변화를 투석전후 확인하지 않아 이들의 변화가 이완기능에 미친 영향을 분석할 수 없었고, 좌심실 비대유형에 따른 분류나 이완기능 장애에 따른 분류를 하기에 대상 환자가 너무 적어 만성신부전 환자에서 동일한 심장 상태에 따른 혈액투석 전후의 변화를 비교, 관찰할 수가 없었고, 투석 후 Doppler 이완기능 지표의 변화가 다양하게 나타나는 결과를 보였다. 향후 동일한 심장 기능 상태를 가진 더 많은 환자를 대상으로 하는 연구가 필요하다고 생각된다.

이상의 결과로 혈액투석 후 전부하의 감소에 따른 좌심실 이완기능 지표의 변화로서 E파속 및 E/A비의 감소, IVRT 증가가 나타나고 수축기능 및 이완기능을 함께 반영하는 것으로 알려진 IMP의 증가가 나타나므로, 혈액투석 후 흔히 좌심실 충만과 이완의 장애로 인해 좌심실 순응도(compliance)의 장애가 발생하는 것으로 생각되며, 좌심실의 기능을 평가할 때 전부하의 정도를 고려해야 할 것으로 사료된다.

요 약

만성 신부전증은 지속적인 혈액투석을 하고 있음에도 다양한 형태의 좌심실 기능부전을 보이며, 특히 좌심실 수축기능이 정상이면서 이완기능 장애만으로 임상적인 심부전증 증상인 폐부종 등이 나타나기도 한다. 또한 혈액투석 후 급격한 혈액량의 변화가 생기므로 적정 심박출을 유지하기 위하여 좌심실 이완기능이 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 저자들은 혈액투석이 좌심실의 수축 및 이완기능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Doppler 심초음파도 지표들을 이용해 투석 전후에 좌심실 수축 및 이완기능의 변화를 비교분석 하였다.

심초음파 검사상 좌심실 수축기능 부전이 없고 ($\text{fractional shortening} > 30\%$), 심장 판막질환이나 심근 국소벽 운동장애가 없으며 정상 심율동을

가진 만성 신부전증 환자 30명(남자 15명, 연령 45 ± 10 세)을 대상으로 이면성 심초음파도 검사를 시행하고, 혈액투석 전후의 좌심실 용적, 좌심실 수축기능 및 Doppler 심초음파도를 이용한 좌심실 이완기능 지표들의 변화를 관찰하여 분석하였다.

혈액투석 후 맥박은 약간 증가하는 소견을 보였으나 통계적 유의성은 없었고, 혈압은 수축기 혈압 및 이완기 혈압의 감소가 있었다. 혈액투석 후 좌심방 및 좌심실 확장기 내경의 크기가 감소했으나 좌심실 수축기 내경의 크기는 변화가 없었고, 심실중격 및 좌심실 후벽의 두께는 변화가 없었다.

좌심실 수축기능 지표인 Fractional shortening, 좌심실 구혈율, 좌심실 박출지수, mean VCF은 투석 전후에 유의한 변화를 보이지 않아 혈액투석으로 인한 좌심실 수축지표의 변화는 관찰되지 않았다. 혈액투석 후 좌심실 이완기능지표의 변화로서 peak E velocity는 현저히 감소하였고, peak A velocity의 변화는 통계적 유의성이 없었다. E/A ratio가 감소하였고, IVRT(Isovolumic Relaxation Time)의 증가가 있었으나, DT(Deceleration time)의 변화는 없었다. 수축기 및 이완기 기능 지표로 사용되는 IMP(Index of Myocardial Performance)은 좌심실 구혈율의 증가와 함께 현저히 증가되었다.

이상의 결과로 혈액투석 후 전부하의 감소에 따른 좌심실 이완기능 지표의 변화로서 E파속 및 E/A비의 감소, IVRT 증가가 나타나고 수축기 기능 및 이완기 기능의 지표로 이용되는 IMP의 증가가 발생하므로, 혈액투석 후 흔히 좌심실 이완기능 장애의 악화가 발생하는 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

- Abrabam B, Sergio SZ, Robert SM, David HS: Cardiac effects of hemodialysis: noninvasive monitoring by systolic time intervals. Am J Med Sci 269: 189-192, 1975.
Burton BT, Krueger KK, Bryan FAJr National registry of long-term dialysis patients. JAMA 218: 718-722, 1971.
Choong CY, Herrmann HC, Weyman AE, Fifer MA. Preload dependence of Doppler-derived

- indexes of left ventricular diastolic function in humans. *J Am Coll Cardiol* 10: 800-808, 1987.
- Choong CY, Abascal VM, Thomas JD, Guerrero JL, McGlew S, Weyman AE: Combined influence of ventricular loading and relaxation on the transmural flow velocity profile in dogs measured by Doppler echocardiography. *Circulation* 78: 672-683, 1988.
- Cohen MV, Diaz P, Scheuer J: Echocardiographic assessment of left ventricular function in patients with chronic uremia. *Clin Nephrol* 12: 156-162, 1979.
- Gupta S, Dev V, Kumar MV, Dash SC: Left ventricular diastolic function in end-stage renal disease and the impact of hemodialysis. *Am J Cardiol* 71: 1427-1430, 1993.
- Hanrath P, Mathey DG, Siegert R, Bleifeld W: Left ventricular relaxation and filling pattern in different forms of left ventricular hypertrophy: an echocardiographic study. *Am J Cardiol* 45: 15-23, 1980.
- Henrich WL, Hunt JM, Nixon JV: Increased ionized calcium and left ventricular contractility during hemodialysis. *N Engl J Med* 310: 19-23, 1984.
- Hung J, Harris PJ, Uren RF, Tiller DJ: Uremic cardiomyopathy-effect of hemodialysis on left ventricular function in end-stage renal failure. *N Eng J Med* 302: 547-551, 1980.
- Hutchinson TA, Thomas DS, MacGibbon B: Predicting survival in adults with end stage renal disease. An age equivalence index. *Ann Intern Med* 96: 417-423, 1982.
- Iliceto S, D'Ambrosio G, Marangelli V, Amico A, Di Biase M, Rizzon P: Echo-Doppler evaluation of the effects of heart rate increments on left atrial pump function in normal human subjects. *Eur Heart J* 12: 345-351, 1991.
- Ishida Y, Meisner JS, Tsujioka K, Gallo JI, Yoran C, Frater RWM, Yellin EL: Left ventricular filling dynamics: Influence of left ventricular relaxation and left atrial pressure. *Circulation* 74: 187-196, 1986.
- Kinet JP, Soyeur D, Balland N, Saint-Remy M, Collignon P, Godon JP: Hemodynamic study of hypotension during hemodialysis. *Kidney Int* 21: 868-876, 1982.
- Koren MJ, Devereux RB, Casale PN, Savage DD, Laragh JH: Relation of left ventricular mass and geometry to morbidity and mortality in uncomplicated essential hypertension. *Ann Intern Med* 114: 345-352, 1991.
- Pearson AC, Janosik DL, Redd RR, Buckingham TA, Blum RI, Labovitz AJ: Doppler echocardiographic assessment of the effect of varying atrioventricular delay and pacemaker mode on left ventricular filling. *Am Heart J* 115: 611-621, 1988.
- Punzengruber C, Wallner M: Doppler echocardiographic analysis of diastolic left ventricular function in dialysis patients and its relation to intradialytic hypotension. *Klin Wochenschr* 67: 826-832, 1989.
- Rozich JD, Smith B, Thomas JD, Zile MR, Kaiser J, Mann DL: Dialysis-induced alteration in left ventricular filling: mechanisms and clinical significance. *Am J Kidney Dis* 17: 277-285, 1991.
- Ruffmann K, Mandelbaum A, Bommer J, Schmidli M, Ritz E: Doppler echocardiographic findings in dialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 5: 426-431, 1990.
- Sadler DB, Brown J, Nurse H, Roberts J: Impact of hemodialysis on left and right ventricular Doppler diastolic filling indices. *Am J Med Sci* 304: 83-90, 1992.
- Tei C, Ling LH, Hodge DO, Bailey KR, Oh JK, Rodeheffer RJ, Tajik AJ, et al.: New index of combined systolic and diastolic myocardial performance-a simple and reproducible measure of cardiac function: a study in normals and dilated cardiomyopathy. *J Cardiol* 26: 357-366, 1995.
- Tei C, Nishimura RA, Seward JB, Tajik AJ: Noninvasive Doppler-derived myocardial performance index: Correlation with simultaneous measurements of cardiac catheterization measurements. *J Am Soc Echocardiogr* 10: 169-178, 1997.

Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. Am J Cardiol 37: 7-11, 1976.

Thomas JD, Weyman AE: Echocardioraphic Doppler evaluation of left ventricular diastolic

function. Phys Physiol Circulation 84: 977-990, 1991.

Wizemann V, Kramer W: Choice of end stage renal disease treatment strategy according to cardiac status. Kidney Int 33 Suppl 24: S191-195, 1988.