

말기 신질 환에서 혈액투석에 따르는 좌우심실용적 및 기능변화에 관한 연구

서울대학교 醫科大學 內科學教室

韓 鎭 錫·高 昌 舜

= Abstract =

Effect of Hemodialysis on Left and Right Ventricular Volume and Function

Jin Suk Han, M.D. and Chang-Soon Koh, M.D.

Department of Internal Medicine College of Medicine, Seoul National University

With the improvement of hemodialysis, the course of the disease in patient with end-stage renal disease has been clearly improved. Nevertheless, among several shortcomings to our present mode of renal replacement therapy, cardiovascular complications have been the leading cause of morbidity and mortality. Several factors such as anemia, arteriovenous shunting of blood, intermittent extracorporeal circulation and hypertension may be contributing.

But little is known about the quantitative cardiac hemodynamic characteristics occurred during hemodialysis.

The purpose of this study is to observe the sequential hemodynamic changes before, during and after the hemodialysis and to investigate reliable parameters in the detection of ventricular dysfunction.

In the present study, equilibrium radionuclide cardiac angiography was performed and left and right ventricular volume indices, ejection phase indices of both ventricular, performance were measured in the 16 stable patients with chronic renal failure treated with maintenance hemodialysis sequentially i.e. before, during (early and late phase) and after the hemodialysis.

The results obtained were as follows;

1) The indices of the left ventricular function were not changed during the hemodialysis but increased after the hemodialysis.

2) The indices of the right ventricular function(EF, SVI) were significantly decreased in the early phase (15, 30 minutes after starting extracorporeal circulation) but recovered after the hemodialysis.

3) The ratio of right ventricular to left ventricular ejection fraction was significantly decreased in the early phase and the lung volume indices were significantly increased at the same phase.

As a conclusion, hemodialysis improves left ventricular function maybe due to increased contractility, and effects on the right ventricular function maybe due to the increased lung volume in the early phase of hemodialysis.

서 론

말기신질환의 치료에 혈액투석이 도입됨으로써 현저한 효과를 가져왔으나, 장기간 혈액투석을 시행함으로써 야기되는 합병증이 속발하게 되어 그 기전규명과 대처에 관심이 기울어지게 되었다.

그중에서도 뇌졸중, 심근경색 및 심부전등의 심혈관계 합병증이 주요사인이 되고 있는 바^{1~6)}, 빈혈, 고혈압, calcium 등 전해질의 변화, 동정맥단락(arteriovenous fistula)이나 체외혈액순환(extracorporeal circulation)에 따르는 혈류역학적 변화등^{7~15)}이 주된 소인으로 설명되고 있으나 아직도 많은 논란이 있고 확정된 바 없다.

여러 연구자들이 심 echo 도, cineangiography 등을 이용하여 혈액투석 전과 후의 혈류역학적 변화를 측정 보고하여 왔으나^{16~28)} 그 결과에 많은 차이가 있고 주로 좌심실기능의 평가에만 국한되었을 뿐 아니라 검사방법의 어려움으로 체외순환이 실제로 이루어지는 혈액투석중의 변화 특히 심혈관계 증상이 흔히 발현되는 투석시작 후 15~30분간에 대한 관찰은 전연 없었다.

한편 최근 방사성동위원소를 이용한 심혈관촬영술이 응용되면서 심실의 시간-방사능곡선을 분석함으로써 좌, 우심실의 구별기 기능지표 및 용적을 간단하고 정확하게 측정할 수 있게 되었을 뿐 아니라 검사법이 비관혈적이므로 반복측정이 가능하여 임상에 널리 이용되게 되었다²⁹⁾.

이에 저자는 심장풀스캔(radionuclide cardiac blood pool scan)을 이용하여 장기적으로 혈액투석을 받고 있는 말기신질환 환자들에서 혈액투석 전후 및 투석진행중의 좌, 우심실의 혈류역학적인 변화를 시간적으로 비교관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

대상 및 방법

1. 대 상

1984년 2월부터 8월까지 서울대학교병원 신실에 내원한 만성신부전 환자중 지속적으로 혈액투석을 받으며 안정된 상태로 합병증이 없는 16명을 대상으로 하였다. 이들은 남자 9명, 여자 7명이었으며, 연령은 24세에서 48세(평균 37세)였다. 환자들의 혈액투석 기간은 평균 10개월이었으며 1주에 2 내지 3회씩 4시간동안 시행하였다.

2. 방 법

상기 16명에게 투석시작 전에 kg 당 0.3 mg의 pyrophosphate를 순간주사(bolus injection)한 후 30분에 20 mCi의 Tc-99 m-pertechnetate를 역시 순간주사하고 혈관내에 충분히 혼합되어 평형상태에 도달한 10분 후에 blood pool scan을 시행하며 동시에 혈압, 맥박, 체중등의 이학적 소견을 측정하였다. 이러한 과정을 혈액투석을 시작하여 체외관류 후 15분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간 및 투석이 끝난 후 30분에 되풀이하여 심장 pool scan 및 이학적 소견을 측정하였다.

1) 심장 pool scan

환자의 위치는 양와위로 하였고 좌심실과 좌심방 및 우심실을 명확히 분리하기 위하여 ON 410 gamma camera를 좌전사위(LAO) 40~50° 및 제장축의 미단부방향으로 5~10° 기울여 시행하였다. 자료는 64×64 matrix online computer에 ECG synchronizer를 이용하여 심장박동기(R-R 간격)마다 frame mode로 수록하였다. 즉 심장박동기마다 20화면으로 나누어 총 300~500 심장박동기동안 방사능계수를 집계시켰던 바 평균 화면당 30~50 m sec, 총 자료수집시간은 5~10분이내였다.

심실용적측정을 위하여 gated scan중 환자에서 10 ml의 heparin으로 처리한 혈액을 채혈한 후 gamma camera로 1분간 계속하고 배후(background) 방사능으로 교정후 혈액 1 ml 당 1분방사능계수치로 환산하였다.

Gated 심장 scan 후 computer를 이용하여 좌, 우심실 및 폐부를 도시한 후 관심영역(region of interest)을 설정하고 좌심실부근의 심장의 관심영역을 배후방사능으로 하여 좌, 우심실의 시간-방사능 곡선을 그린 후, 확장기말계수와 수축기말계수를 측정하여 좌우심실 및 폐에서 다음의 각 지표를 산출하였다^{30~32)}.

① 박출계수(ejection fraction: EF, %)

$$= \frac{\text{확장기말계수} - \text{수축기말계수}}{\text{확장기말계수}} \times 100$$

② 확장기말(혹은 수축기말) 용적지수(end diastolic (or end systolic) volume index: ED(or S) VI)

$$= \frac{\text{확장기말(수축기말)계수}}{\text{화면당자료수집시간(분)} \times \text{혈액 1 ml 당 1분 방사능계수} \times \text{체표면적}}$$

③ 구혈량지수(stroke volume index: SVI, ml/m²)

$$= \text{확장기말 용적지수(EDVI)} - \text{수축기말 용적지수(ESVI)}$$

Table 1. Sequential Changes in the Parameters during and after Hemodialysis in the Percentage of Basal Level (mean±SD)

	Pre-HD	Early phase	Late phase	Post-HD
Physical finding				
Blood pressure	100	98.6±14.4	110.4±12.5	112.3±13.1
Heart rate	100	107.9±11.3	104.8±13.2	101.6±12.2
Left ventricle(LV)				
EF	100	98.5±16.8	107.9±19.6	110.7±8.3*
SVI	100	95.3±15.3	104.8±18.5	110.4±13.0*
Vcf	100	100.5±12.9	110.8±11.7	117.9±17.4*
ΔS	100	107.1±16.3	110.3±12.4	112.5±19.1*
Right ventricle(RV)				
EF	100	71.8±17.7**	112.1±14.5	105.1±15.9
SVI	100	86.3±10.4*	108.4±10.7	109.6±15.1
Vcf	100	90.2±13.8	112.9±13.1	116.8±12.3
ΔS	100	98.3±13.6	112.4±15.7	108.9±10.5
RVEF/LVEF	100	71.4±17.5**	100.8±14.6	98.6±16.7
Lung volume index	100	145.0±13.5**	125.8±14.9*	27.2±13.2*

*p<0.05 **p<0.01 by paired t-test

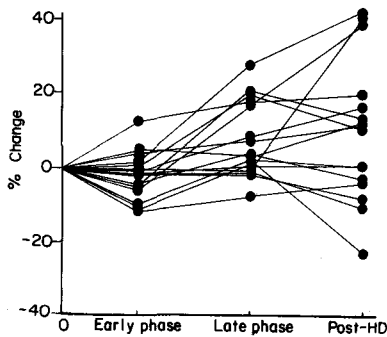


Fig. 1. Serial percent change of left ventricular ejection fraction(LVEF).

- ④ 분획단축률(fractional shortening: %ΔS, %)

$$= \frac{\% \text{확장기 말용적지수} - \% \text{수축기 말용적지수}}{\% \text{확장기 말용적지수}} \times 100$$
- ⑤ 평균원주단축율(mean velocity of circumferential fiber shortening: Vcf, circ/sec)

$$= \frac{\text{분획단축율}}{\text{심실구출기시간(sec)} \times 100}$$
- ⑥ 폐용적지수(lung volume index: LVI, ml/m²)

$$= \frac{\text{폐계수(lung count)}}{\frac{\text{화면당자료집적시간(분)} \times \text{혈액 1ml 당 1분방사능계수} \times \text{체표면적(m}^2\text{)}}}$$

2) 자료의 분석

실험을 통하여 측정된 각 지표(parameter)는 혈액 투석 전, 투석초기(투석후 15, 30분), 투석후기(투석후 2,3시간) 및 투석종료 후로 나누어서 분석하고 투석 전을 기준으로 하여 자기의 변화를 % 및 %변화로 표시하였다. 자료의 통계처리는 모두 paired t-test 로 분석하였고 p 값이 0.05이하일 때 유의하다고 하였으며, 연구성적은 기준치에 대한 %의 평균치±표준편차(SD)로 표시하였다.

성적

1. 이학적 소견(physical findings)

혈액투석 초기에 혈압은 다소 감소하고, 맥박은 증가하는 추세를 보였으나 유의한 변화는 없었다(Table 1). 또한 임상적으로 심혈관장애의 증상이나 소견을 보인 경우는 전연 없었다.

2. 좌심실 지수(left ventricular index)

좌심실의 박출계수(EF)는 투석 중에는 변화를 보이지 않다가 투석이 끝난 후에 110.7±8.3(mean±SD)로 유의하게(p<0.05, paired t-test) 증가하였다(Table 1, Fig. 1).

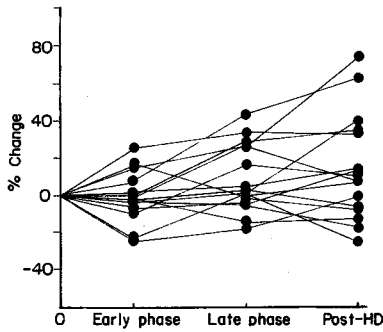


Fig. 2. Serial percent change of mean velocity of left ventricular circumferential fiber shortening(LV Vcf).

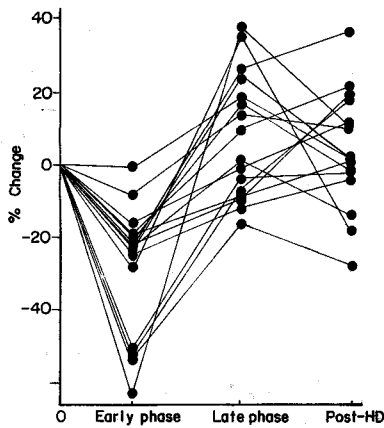


Fig. 3. Serial percent change of right ventricular ejection fraction(RVEF).

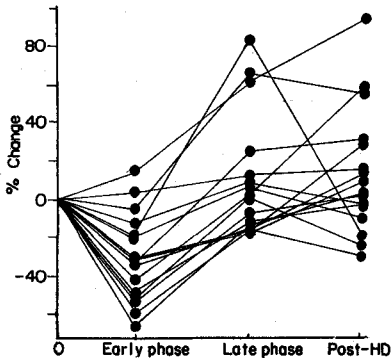


Fig. 4. Serial percent change of mean velocity of right ventricular circumferential fiber shortening(RV Vcf).

그리고 구혈량지수(SVI), 분획단축율(ΔS) 및 평균 원주단축율(Vcf)도 박출계수와 동일한 양상을 보여, 투석중에는 변화가 없었으나 투석 후에는 유의한 증가를 보였다(Table 1, Fig. 2).

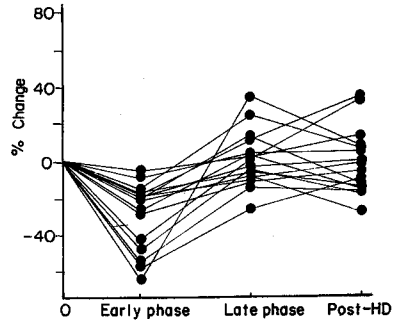


Fig. 5. Serial percent change of ratio of right ventricular ejection fraction to left ventricular ejection fraction(RVEF/LVEF).

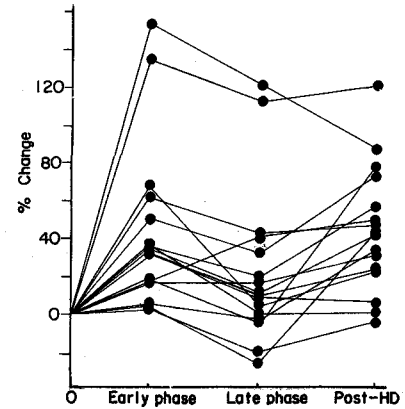


Fig. 6. Serial percent change of lung volume.

3. 우심실 지수(right ventricular index)

우심실의 박출계수(EF)는 투석 초기에 71.8 ± 17.7 로 현저한 감소를 보였고($p < 0.01$, paired t-test) 투석후기에 기준치보다 다소 증가되는 소견을 보였으나 유의하지 않았다. 구혈량지수(SVI)도 같은 양상으로 투석초기에 86.3 ± 10.4 로 유의한 감소를 보인 후($p < 0.05$, paired t-test) 회복되었다(Table 1, Fig. 3).

분획단축율(ΔS) 및 평균원주단축율(Vcf)는 투석초기에 다소 감소한 후 회복되는 양상을 보였으나 유의하지는 않았다(Table 1, Fig. 4).

4. 우심실박출계수 대 좌심실박출계수비(ratio of RVEF to LVEF: RVEF/LVEF)

좌심실기능의 변화에 따라 이차적으로 우심실의 기능이 변할 수 있으므로, 이러한 좌심실기능 변화의 영향을 배제하기 위하여 우심실박출계수 대 좌심실박출계수의 비(이하 우좌심실박출계수비라 약함)를 관찰한 결과 역시 투석초기에 71.4 ± 17.5 로 현저한 감소를 보였다($p < 0.01$, paired t-test)(Table 1, Fig. 5).

5. 폐용적지수(lung volume index)

폐용적지수는 우심실의 여러 기능지수가 감소하는, 투석초기에 역시 145.0 ± 13.5 로 현저히 증가한($p < 0.01$, paired t-test) 후 투석종료 후에도 계속 지속되는 소견을 보였다(Table 1, Fig. 6).

고 안

심혈관계 합병증은 말기신장질환에서 흔히 발생하고 있는 바¹⁾, Bailey 등³⁵⁾이 요독성 심근증(uremic cardiomyopathy)을 보고한 이래로 빈혈, 고혈압, 동맥경화, 체내의 수분 및 전해질과 산염기대사의 불균형, 요독물질등^{2~13)}이 그 소인으로서 지적되어 왔으나 아직 뚜렷하게 설명되지 않고 있다. 또한 최근 혈액투석이 말기신장질환의 치료에 도입되어 체내의 여러 대사적 불균형과 요독증의 치료에 현저한 효과를 보이고 있음에 불구하고, 매년 10%정도의 환자가 심혈관계 합병증으로 사망하고 있어¹⁾, 혈액투석에 따르는 심장의 혈류역학적 변화에 많은 관심이 경주되어 왔다.

현재까지 여러 연구자들이^{16~29)} echo 도, cineangiography 등을 이용하여 좌심실의 기능을 나타내는 여러 지표를 측정하여, 혈액투석 전, 후를 비교하였던 바, 일반적으로 투석 후에 박출계수와 평균원주단축율의 증가를 보여 투석에 따르는 혈류량의 감소에 따르는 이차적인 변화나 혹은 이와는 무관하게 좌심실수축력의 증가가 있음을 보고하여 왔다.

DelGreco, Goss, Hung, Capeli 등^{1, 18, 19, 23, 24)}의 보고에 의하면 투석 전에 고혈압, 심부전 혹은 좌심실기능이상 이 있었던 환자에서는 투석후에는 심박출량과 박출계수가 증가하지만, 투석 전에 이러한 심기능의 이상이 없었던 환자에서는 오히려 감소하거나 변화가 없어 투석을 시행함으로써 혈류량이 감소되고 이에 따라 이차적인 심기능의 변화가 있다고 하였다. 1975년 Bornstein 등¹⁶⁾도 systolic time interval 을 측정하여 투석 후 구혈전기(preejection time)가 증가하고 구혈시간(ejection time)이 감소함을 보고하여 preload의 감소에 따르는 starling 효과로 설명하였고, 이러한 변화는 심박동수, 혈압의 변화와 무관하다고 하였다.

한편 혈류량, 혈압, 맥박등의 변화에 별로 영향을 받지 않고 심근의 수축력을 가장 신빙성있게 반영한다고 알려진 평균원주단축율을 이용하여 Gilmartin, Nixon 등^{9, 22~25)}이 보고한 바에 따르면 투석에 따르는 혈류량의 변화에 무관하게 평균원주단축율이 현저히

증가하여, 투석후의 좌심실수축력이 증대되는 것으로 나타났다.

이러한 좌심실수축력의 증가되는 기전으로 요독물질의 제거^{7~12)}, ion 화 calcium 농도의 증가^{13~15)}와 투석액의 완충용액에 따르는 차이등이 보고되고 있으나 연구자마다 다소의 차이가 있다.

Henrich 등^{13~15)}은 투석전후에 ion 화 calcium 의 농도를 변화시키지 않은 경우 심근수축력의 증가가 없었다고 보고하였고, Chen 등²⁶⁾은 acetate 투석액 사용시 수축기 혈압과 동맥산소분압이 감소하였으나 bicarbonate 투석액 사용시는 이러한 변화를 보이지 않았다고 하였으나 O'Regan¹⁷⁾, Metha 등²⁰⁾은 acetate 투석액을 사용하여도 평균원주단축율이 투석후에는 증가함을 보고하였다.

저자의 결과에 있어서도 투석후 좌심실박출계수, 구혈량지수, 평균원주단축율, 분획단축율이 유의하게 증가하여 혈액투석후 혈류량의 변화와 무관하게 좌심실의 심근수축력 증가로 심기능이 향상됨을 알 수 있었다.

한편 혈액투석 초기에 원인을 알 수 없는 혈압강하, 부정맥, 심계항진, 흉부동통이나 압박감 및 호흡곤란 등 심폐기증상이 발현되는데 이의 기전으로는 투석막에 의한 교대경로(alternate pathway) 보체활성화로 폐혈관중에 혈류가 정체됨으로써 폐환기와 관류의 부조(mismatch)를 초래한다는 설과 폐기능에는 이상이 없이 투석막을 통해 투석완충용액으로 이산화탄소가 소실되어 이차적인 저환기로 혈중산소분압의 저하가 초래된다는 설이 있으나 현재로서는 투석초기(15~30분)에 혈중 백혈구수의 감소, C₃이하의 보체감소, 동맥혈산소분압의 감소등이 확인되고 있다^{26~38)}.

저자의 실험을 통하여 투석중 우심실기능을 측정할 결과 투석초기(15~30분)에 우심실의 박출계수, 구혈량지수는 현저히 감소되는데 반하여 분획단축율, 평균원주단축율의 변화는 없었다. 또한 좌심실기능의 변화가 우심실기능에 미치는 영향을 배제하기 위하여 우좌심실박출계수비를 비교한 결과 역시 동시기에 유의하게 감소되어 혈액투석의 초기에 확실한 우심실의 기능저하가 있으며 이는 우심실 자체의 수축력변화보다는 주로 혈류량의 감소에 따른 변화로 사료된다.

한편 저자의 결과에 따르면 폐내의 혈류량이 동시기에 현저히 증가하는 양상을 보여 우심실의 기능변화는 폐혈류의 증가 혹은 정체와 깊은 상관을 갖는 것으로 사료된다.

이상과 같이 투석 후에는 좌심실기능의 개선이 있게

되며 이는 투석에 따르는 혈류량의 감소나, 여러 인자에 의한 좌심실 자체의 수축력 증가에 기인하며, 투석 초기에는 우심실의 기능저하가 초래되며 이는 우심실의 수축기능과는 무관히 혈류량과 관련이 있을 것으로 사료된다. 그러나, 투석초기의 우심실기능저하와 폐혈류의 증가의 상관관계 및 그 기전과 투석후 좌심실 수축기능의 증가를 초래하는 원인들은 계속 추구하여야 할 과제라 생각된다.

결 론

만성신질환으로 혈액투석을 받고 있는 합병증이 없고 안정된 환자 16명을 대상으로 투석 전, 투석초기(15, 30분), 투석후기(2, 3시간) 및 투석종료 후에 심장 pool scan 을 시행하고 좌, 우심실의 혈류역학적 변화와 폐용적지수를 시간적으로 비교관찰하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 좌심실 지수는 투석 진행 중에는 변화가 없으나, 투석종료 후에는 증가되었다.

2) 우심실 지수는 박출계수와 구혈량지수는 투석초기에 현저한 감소를 보여, 각각 $71.8 \pm 17.7 (p < 0.01)$, $86.3 \pm 10.4 (p < 0.05)$ 였으나, 분획단축율이나 평균원주단축율은 유의한 변화가 없었다.

3) 우좌심실박출계수비는 투석초기에 71.4 ± 17.5 로 현저한 감소를 보였고($p < 0.01$), 폐용적지수는 투석초기에 역시 145.0 ± 13.5 로 현저히 증가되었다($p < 0.01$).

이상의 결과를 통하여 투석초기에 심혈관계는 주로 우심실의 기능변화에 영향을 받게되며, 이러한 우심실의 기능변화는 폐로의 혈류량 증가가 원인으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Capelli, J.P. and Kasparian, H.: *Cardiac work demands and left ventricular function in end-stage renal disease. Ann. Intern. Med.*, 86: 261, 1977.
- 2) Druke, T., Pailleur, C.L., Meilhac, B., Koutoudis, C., Zingraff, J. and Crosnier, J.: *Congestive cardiomyopathy in uraemic patients on long term hemodialysis. Br. Med. J.*, 1:350, 1977.
- 3) Ianhez, L.E., Lowen, J. and Sabbaga, E.: *Uremic myocardialopathy. Nephron*, 15:17, 1975.

- 4) Terman, D.S., Alfrey, A.C., Hammond, W.S., Donndelinger, T., Ogden, D.A. and Holmes, J.H. *Cardiac calcification. Amer. J. Med.* 50:744, 1971.
- 5) Langendorf, R. and Pirani, C.L.: *The heart in uremia. Amer. Heart J.*, 32:282, 1947.
- 6) Lindner, A., Charra, B., Sherrad, D.J. and Scribner, B.H.: *Accelerated atherosclerosis in prolonged maintenance hemodialysis. New Engl. J. Med.*, 290:697, 1974.
- 7) Neff, M.S., Kim, K.E., Persoff, M., Onesti, G. and Swartz, C.: *Hemodynamics of uremic anemia. Circulation*, 43:876, 1971.
- 8) Henrich, W.L., Katz, F.H., Molinoff, P.B. and Schrier, R.W.: *Competitive effects of hypokalemia and volume depletion on plasma renin activity, aldosterone and catecholamine concentrations in hemodialysis patients. Kidney Int.*, 12:279, 1977.
- 9) Chaignon, M., Chen, W., Tarazi, R.C., Nakamoto, S. and Salcedo, E.: *Acute effects of hemodialysis on echographic determined cardiac performance. Amer. Heart J.*, 103:374, 1982.
- 10) Nivatpumin, T., Yipintsoi, T., Penpargkul, S. and Scheuer, J.: *Increased cardiac contractility in acute uremia; interrelationship with hypertension. Amer. J. Physiol.*, 229:501, 1975.
- 11) Cohn, J.N.: *Blood pressure and cardiac performance. Amer. J. Med.*, 55:351, 1973.
- 12) Henrich, W.L., Woodard, T.D., Blachley, J.D., Gomez-Sanchez, C., Pettinger, W. and Cronin, R.E.: *Role of osmolality in blood pressure stability after dialysis and ultrafiltration. Kidney Int.*, 18:480, 1980.
- 13) Henrich, W.L., Hunt, J.M. and Nixon, J.V.: *Increased ionized calcium and left ventricular contractility during hemodialysis. New Engl. J. Med.*, 310:19, 1984.
- 14) Druke, T., Fauchet, M., Fleury, J., Lesourd, P., Toure, Y., Pailleuer, C., Vernejoul, P. and Crosnietur, J.: *Effect of parathyroidectomy on left-ventricular function in haemodialysis pat-*

- ients. Lancet*, 1:112, 1980.
- 15) Bristow, M.R., Schwartz, H.D., Binetti, G., Harrison, D.C. and Daniels, J.R.: *Ionized calcium and the heart. Circulation Research*, 41:565, 1977.
- 16) Bornstein, A., Zambrano, S.S., Morrison, R.S. and Spodick, D.H.: *Cardiac effects of hemodialysis. Amer. J. Med. Sci.*, 269:189, 1975.
- 17) O'Regan, S., Villemand, D., Revillon, L., Robitaille, P., Ducharme, G. and Davignon, A.: *Effects of hemodialysis on myocardial function in pediatric patients. Nephren*, 25:214, 1980.
- 18) Graeffe, U., Milutinovich, J., Follette, W.C., Vizzo, J.E., Babb, A.L. and Scribner, B.H.: *Less dialysis-induced morbidity and vascular instability with bicarbonate in dialysate. Ann. Intern. Med.*, 88:332, 1978.
- 19) Hung, J., Harris, P.J., Uren, K.F., Tiller, D. J. and Kelly, D.T.: *Uremic cardiomyopathy-effect of hemodialysis on left ventricular function in end-stage renal failure. New Engl. J. Med.*, 302:547, 1980.
- 20) Mehta, B.R., Ireland, M.A. and Shiu, M.F.: *Echocardiographic evaluation of cardiac size and function in dialysis patients. Clin. Nephrol.*, 20(2):61, 1983.
- 21) Pedersen, T., Rasmussen, K. and Cleemann-Rasmussen, K.: *Effect of hemodialysis on cardiac performance and transmural myocardial perfusion. Clin. Nephrol.*, 19(1):31, 1983.
- 22) Friedman, H.S., Sahn, B.N., Kim, H.G., Bove, L.A., Del Monte, M.M. and Smith, A.J.: *Clinical study of the cardiac findings in patients on chronic maintenance hemodialysis. Clin. Nephrol.*, 16(2):75, 1981.
- 23) Nixon, J.V., Mitchell, J.H., McPhaul, J.J. and Henrich, W.L.: *Effect of hemodialysis on left ventricular function. J. Clin. Invest.*, 71:377, 1983.
- 24) Gilmartin, J.J., Duffy, B.S., Finnegan, P. and McCready, N.: *Non-invasive study of left ventricular function in chronic renal failure before and after hemodialysis. Clin. Nephrol.*, 20(2):55, 1983.
- 25) Wehle, B., Asaba, H., Castenfors, J., Furst, P., Gunnarsson, B., Shaldon, S. and Bergström, J.: *Hemodynamic changes during sequential ultrafiltration and dialysis. Kidney Int.*, 15:411, 1979.
- 26) Chen, T.S., Friedman, H.S., Smith A.J. and Del Monte: *Hemodynamic changes during hemodialysis: role of dialyzate. Clin. Nephrol.*, 20(4):190, 1983.
- 27) Rouby, J.J., Rottembourg, J., Durande, J.P., Basset, J.Y., Degoulet, P., Glaser, P. and Legrain, M.: *Hemodynamic changes induced by regular hemodialysis and sequential ultrafiltration hemodialysis. 17:801, 1980.*
- 28) 박금수, 김상애, 탁승제, 양주영, 심원흠, 이호영, 한대석, 이웅구: 말기성 만성신부전증 환자에게서 혈액투석 전후의 좌심실기능변화에 관한 관찰. 대한신장학회잡지, 3(1):46, 1984.
- 29) Strauss, H.W., Zaret, B.L., Hurley, P.J., Natarajan, T.K. and Pitt, B.: *A scintiphotographic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. Amer. J. Cardiol.*, 28:575, 1971.
- 30) Slutsky, R., Karliner, J., Ricci, D., Kaiser, R., Pfistere, M., Gordon, D., Peterson, K. and Ashburn, W.: *Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography: A new method. Circulation*, 60:556, 1979.
- 31) 정준기, 이정균, 김광원, 이명철, 조보연, 이영우, 고창순, 한만청: ECG gated cardiac blood pool scan에서 좌심실기능분석에 관한 연구. 대한핵의학회지, 14:29, 1980.
- 32) Slutsky, R., Higgins, C., Bhargava, V., Gerber, K., Tubau, J., Costello, D. and Lewinter, M.: *Pulmonary blood volume; correlation of equilibrium radionuclide and dye-dilution estimates. Invest. Radiol.*, 17:233, 1982.
- 33) DelGreco, F., Simon, N.M. and Roguska, J.: *Hemodynamic studies in chronic uremia. Circulation*, 40:87, 1969.
- 34) Goss, J.E., Alfrey, A.C. and Vogel, H.K.: *Hemodynamic changes during hemodialysis.*

- Trans. Amer. Soc. Artif. Intern. Organs*, 13: 68, 1976.
- 35) Bailey, G.L., Hampers, C.L. and Merrill, J.P.: *Cardiomyopathy in uraemia. Trans. Amer. Soc. Artif. Intern. Organs*, 13:263, 1976.
- 36) Kaplow, L.S. and Goffinet, J.A.: *Profound neutropenia during early phase of hemodialysis. J.A.M.A.*, 203:1135, 1968.
- 37) Sherlock, J.E., Ledwith, J.W. and Letteri, J. M.: *Hemodialysis induced hypoxemia; a response to loss of CO₂ across the dialyzer and increased oxygen consumption. Dialysis Transplant.*, 5:34, 1977.
- 38) 한진석, 박정식, 김성권, 이정상: 혈액투석에 따르는 혈중기체분압 및 백혈구의 변화에 관한 연구. *대한신장학회잡지*, 1(1):9, 1982.

