

# 血液透析の心臓におよぼす 影響：心エコー図による評価

# Echocardiographic evaluation of the effect of hemodialysis on the heart

砂川 賢二  
福山 尚哉  
田中 銑一  
後藤宏一郎\*

Kenji SUNAGAWA  
Takaya FUKUYAMA  
Senichi TANAKA  
Koichiro GOTO\*

## Summary

The effect of hemodialysis on the heart was studied by echocardiography in 30 uremic patients on a program of maintenance hemodialysis and was compared with 27 normal subjects. None of the uremic patients had any evidence of congestive heart failure.

Left ventricular transverse dimension, left atrial dimension (LAD), aortic dimension (AoD), and E-F slope of the mitral valve were measured on echocardiograms. Using the cubic formula, end-diastolic volume (EDV) and end-systolic volume (ESV) were computed, and stroke volume (SV), cardiac output (CO), and ejection fraction (EF) were derived. The mean velocity of circumferential fiber shortening (mean Vcf) was also derived from end-diastolic dimension (EDD), end-systolic dimension (ESD), and ejection time (ET).

As compared with the values in normal subjects, the values of EDD, ESD, LAD, AoD, SV, CO, EF, and ET before dialysis were significantly higher. After dialysis LAD, EF, and ET were reduced significantly and fell within normal ranges. ESD and AoD were not altered significantly, and AoD showed significant correlation with diastolic pressure. E-F slope before dialysis was significantly lower than that of normal subjects and showed further decrease after dialysis. The mean Vcf before dialysis was similar to that in normal subjects and was relatively unaffected by hemodialysis.

The results indicate the following:

- (1) It appears that LAD reflects the plasma volume (PV) better than EDD does in uremic patients.
- (2) The reduction of E-F slope before dialysis suggests the decreased rate of left ventricular filling.
- (3) The elevated CO in uremic patients is explained by increased SV but not by increased heart rate (HR).
- (4) The reduction of SV and ET after dialysis are probably due to the reduction of preload.
- (5) There is no evidence which suggests the decrease of left ventricular performance in uremic patients and the drastic improvement of dialyzable biochemical abnormalities by dialysis does not appear to enhance left ventricular performance.

九州大学医学部 循環器内科  
福岡市東区馬出 3-1-1 (〒812)  
\* 後藤クリニック  
福岡市中央区舞鶴 3-5-17 (〒812)

Research Institute of Angiocardiology and Cardiovascular Clinic, Kyushu University Medical School, Maidashi 3-1-1, Higashi-ku, Fukuoka, 812  
\*Goto's Artificial Kidney Center, Maizuru 3-6-17, Chuo-ku, Fukuoka, 812

## Key words

hemodialysis  
uremic patients  
preload  
left ventricular performance

## はじめに

腎不全患者の血行動態は、代謝産物の蓄積による中毒性因子と、慢性の圧・容量負荷による機械的因子から大きな影響を受けている。血液透析(透析)により、両因子とも短時間で改善され、血行動態も大きな変化を示す。この腎不全患者の血行動態の特殊性と、透析による影響について、既にいくつかの報告<sup>1)~9)</sup>がなされている。しかしこの多くは観血的に血行動態全般にわたる検索を行ったものであり、心臓への影響に重点をおいた報告は、わずかに散見<sup>6)8)9)</sup>されるにすぎない。そこで透析による急激な血行動態の変化が心臓におよぼす影響を明らかにするため、UCGを用い腎不全患者と健常者の比較検討を行った。

## 対象ならびに方法

30人の慢性腎不全患者(男子19人, 女子11人)と27人の健常者(男子17人, 女子10人)を対象とした。腎不全疾患は透析開始後少なくとも3カ月以上経過しており、主としてコイル型の透析器により、週に14~15時間の透析を受けている。平均年齢は $37.6 \pm 12.1$ 才(19~65才)で、心不全症状のある症例や、心電図上明らかな心筋梗塞、脚ブロック等、左室壁の運動異常をおこす可能性のある症例は含まれていない。健常者の平均年齢は $30.3 \pm 10.7$ 才(17~64才)である。

UCG装置はAloka製Model SSD-110を用い、心電図、心音図、頸動脈波の同時記録を行った(**Figure 1**)。

被検者は安静仰臥位とし、原則として、第4肋間胸骨左縁に探触子を当て、ビームを入れた。健常者は特別に時間は指定しなかったが、腎不全患

者は、透析前1時間以内と終了後1時間以内に検査を行った。心拍数(HR)は同時記録した心電図から求め、血圧はマンシエットを用い上膊部で測定した。

UCGの計測は左室拡張期径(EDD)、収縮期径(ESD)、大動脈根部径(AoD)、左房径(LAD)、僧帽弁拡張期後退速度(E-F slope)について行われ、最低3心拍以上の平均値を求めた。3乗法で左室拡張期容積(EDV)、収縮期容積(ESV)を求め駆出量(SV)、駆出率(EF)を算出し、SVとHRから心拍出量(CO)を求めた。さらに駆出時間(ET)とEDD、ESDからmean velocity of fiber shortening(mean Vcf)を算出した。

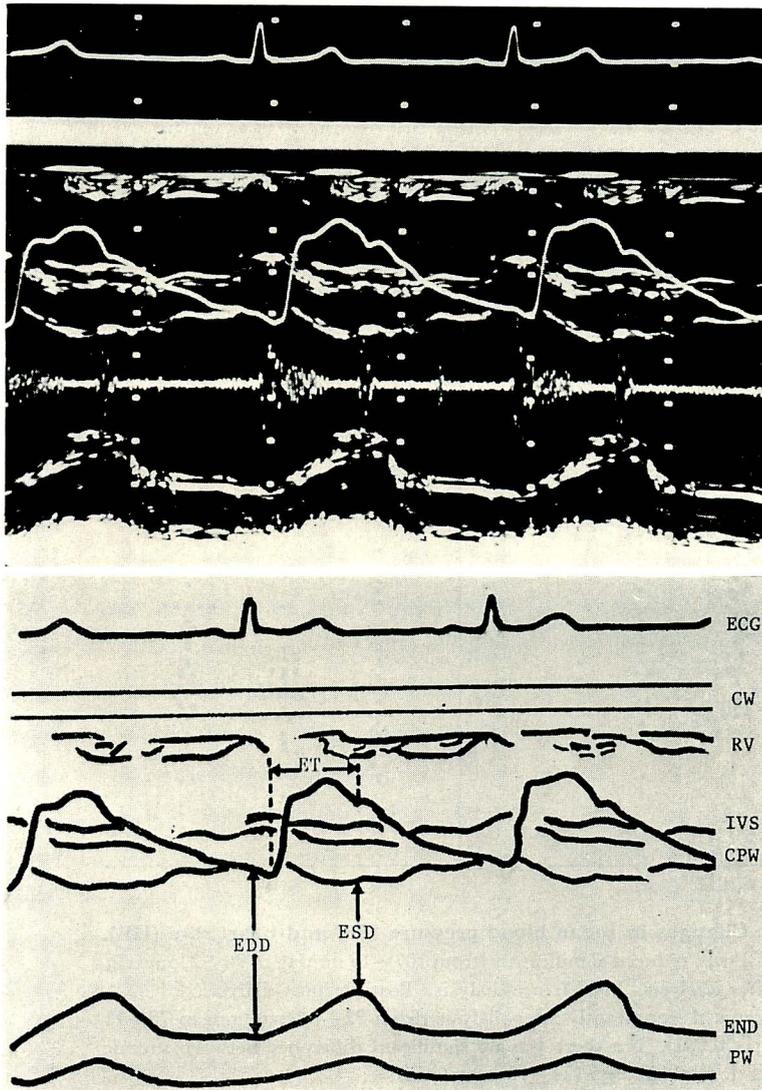
$$\begin{aligned} \text{EDV} &= (\text{EDD})^3 && \text{ml} \\ \text{ESV} &= (\text{ESD})^3 && \text{ml} \\ \text{SV} &= \text{EDV} - \text{ESV} = (\text{EDD})^3 - (\text{ESD})^3 && \text{ml/beat} \\ \text{CO} &= \text{SV} \times \text{HR} && \text{L/min} \\ \text{EF} &= \text{SV} / \text{EDV} \times 100 && \% \\ \text{mean Vcf} &= \text{EDD} - \text{ESD} / \text{ET} / \text{EDD} && \text{circ/sec} \end{aligned}$$

検査と計測はそれぞれ独立した検者が行った。

## 結 果

**Table 1**に血液生化学所見の変化を示す。平均 $4.8 \pm 0.4$ 時間(標準偏差)の透析で、体重は $52.5 \pm 9.3$ kgから $51.2 \pm 8.9$ kgと減少し( $p < 0.001$ )、血清クレアチニン、尿素窒素も有意に( $p < 0.001$ )減少した。血清Na, Kは減少し( $p < 0.001$ )、Caは増加( $p < 0.001$ )したが、電解質はいずれも、ほぼ正常範囲内での変動にとどまった。

平均血圧は透析後わずかに低下( $p < 0.01$ )した(**Figure 2A**)。HRは透析後増加( $p < 0.001$ )



**Figure 1. Left ventricular echogram with schematic representation obtained from a patient with chronic uremia before dialysis.**

ECG: electrocardiography, CW: chest wall, RV: anterior wall of the right ventricle, IVS: interventricular septum, CPW: carotid pulse wave, END: endocardium of the left ventricle, PW: posterior wall of the left ventricle.

したが、透析前後を通じ、対照群と有意の差を示さなかった (Figure 2B).

UCG の計測値を Table 2 に示す。

EDD は透析後減少 ( $p < 0.001$ ) したが、依然と

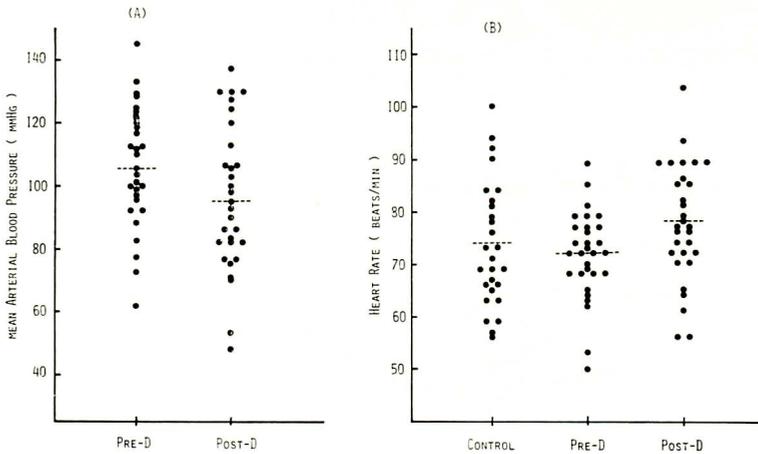
して対照群より大きい値 ( $p < 0.001$ ) を示していた (Figure 3A).

ESD は透析による有意な変化は認められなかったが、対照群より大 ( $p < 0.05$ ) であった (Figure

**Table 1. Biochemical data before and after dialysis**

	Weight (kg)	mean BP (mm Hg)	Serum Na (mEq/L)	Serum K (mEq/L)	Serum Ca (mEq/L)	BUN (mg/100 ml)	Creatinine (mg/100 ml)	Hematocrit (%)
<b>Pre-dialysis</b>								
Mean	52.5	107	140	5.3	4.4	101	15.9	21.5
SD	9.3	19	3	0.6	0.6	20	3.7	3.5
<b>Post-dialysis</b>								
Mean	51.2	96	136	3.9	5.7	40	7.2	
SD	8.9	23	3	0.4	0.8	13	2.3	
P <	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	

After dialysis of 4.8 hours (mean), levels of BUN, serum creatinine, potassium, sodium, mean BP and body weights showed statistically significant decrease and serum calcium increased significantly. BP: blood pressure, BUN: blood urea nitrogen, SD: standard deviation, P: significance.



**Figure 2. Changes in mean blood pressure (BP) and heart rate (HR).**  
 A) Mean BP was reduced significantly (from  $107 \pm 19$  mmHg to  $96 \pm 23$  mmHg,  $p < 0.01$ ) after dialysis. Pre-D: pre-dialysis, Post-D: post-dialysis.  
 B) HR increased significantly after dialysis (from  $72 \pm 8$  beats/min to  $78 \pm 11$  beats/min,  $p < 0.001$ ), but there was no significant difference between uremic patients and normal subjects ( $74 \pm 13$  beats/min).

**3B).**

LAD は透析前は対照群より大 ( $p < 0.001$ ) であったが, 透析後は著明に減少し ( $p < 0.001$ ), 対照群との差がなくなった (**Figure 4A**). E-F slope は対照群より明らかに低く ( $p < 0.01$ ), 透析後さらに低下 ( $p < 0.001$ ) した (**Figure 4B**).

AoD は透析による有意な変化はなかったが, 対照群より明らかに大きい値 ( $p < 0.001$ ) を示し

ていた (**Figure 5A**).

また腎不全患者の AoD と拡張期血圧は有意な ( $p < 0.001$ ) 正の相関 ( $r = 0.60$ ) を示した (**Figure 5B**).

ET は透析により減少し ( $p < 0.001$ ), 対照群と有意な差を示さなくなった (**Figure 6A**).

SV は透析による有意な減少 ( $p < 0.001$ ) を認めたが, 透析後も対照より大 ( $p < 0.005$ ) であった

Table 2. Echocardiographic measurement values before and after dialysis

	EDD	ESD	LAD	AoD	E-F SLOPE	HR	ET	SV	CO	EF	mean Vcf
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(mm/sec)	(beats/min)	(msec)	(ml/beat)	(L/min)	(%)	(circ/sec)
Pre-dialysis											
Mean	5.3	3.1	3.2	3.1	84	72	330	120	8.6	80	1.25
SD	0.6	0.4	0.5	0.4	22	8	33	39	2.6	7	0.19
Post-dialysis											
Mean	4.9	3.1	2.8	3.1	69	78	294	89	6.9	73	1.26
SD	0.6	0.4	0.5	0.4	21	11	39	35	2.4	7	0.22
P <	0.001	NS	0.001	NS	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	NS
Normal Subjects											
Mean	4.3	2.8	2.6	2.7	105	74	309	62	4.5	73	1.17
SD	0.6	0.5	0.4	0.3	23	13	32	24	1.8	7	0.23
Comparison with Normal Subjects and											
Pre-D											
P <	0.001	0.05	0.001	0.001	0.01	NS	0.05	0.001	0.001	0.001	NS
Post-D											
P <	0.001	0.05	NS	0.001	0.001	NS	NS	0.005	0.001	NS	NS

EDD: end-diastolic dimension, ESD: end-systolic dimension, LAD: left atrial dimension, AoD: aortic dimension, E-F slope: E-F slope of the mitral valve, HR: heart rate, ET: ejection time, SV: stroke volume, CO: cardiac output, EF: ejection fraction, mean Vcf: mean velocity of circumferential fiber shortening, SN: non-significant.

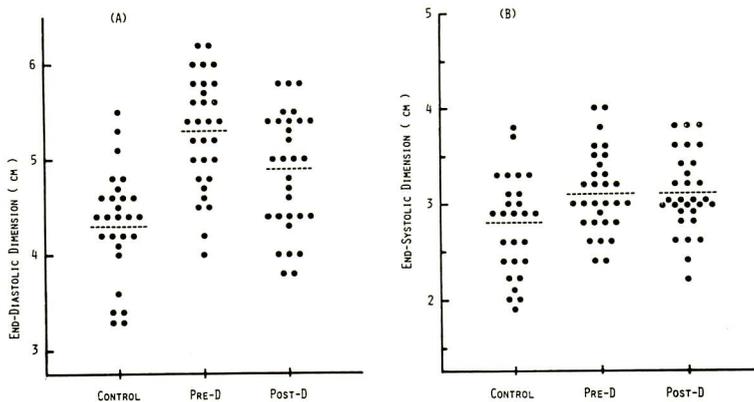


Figure 3. Changes in end-diastolic (EDD) and end-systolic dimensions (ESD).

A) EDD increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $5.3 \pm 0.6$  cm to  $4.3 \pm 0.6$  cm  $p < 0.001$ ) and reduced significantly after dialysis ( $4.9 \pm 0.6$  cm,  $p < 0.001$ ), though remained above normal range ( $p < 0.001$ ).

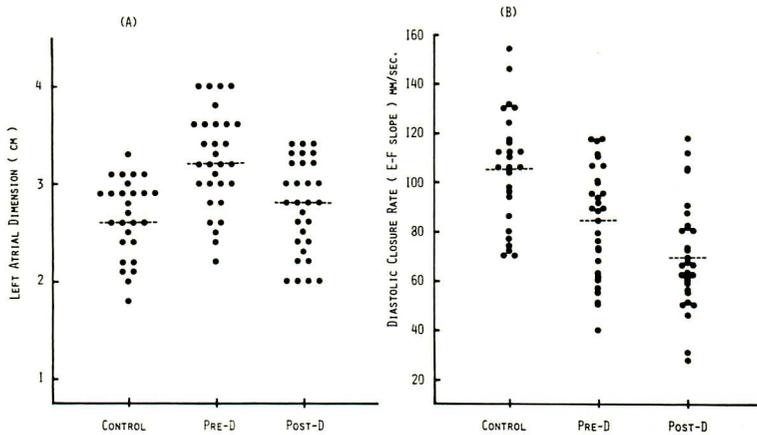
B) ESD increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $3.1 \pm 0.4$  cm to  $2.8 \pm 0.5$  cm,  $p < 0.05$ ), and was not altered significantly after dialysis ( $3.1 \pm 0.4$  cm).

(Figure 6B).

COはSVと同様に、透析により減少 ( $p < 0.001$ ) したが、透析後も対照群より大 ( $p < 0.001$ ) であった (Figure 6C).

EFは透析により減少し ( $p < 0.001$ ), 対照群との有意差がなくなった (Figure 7A).

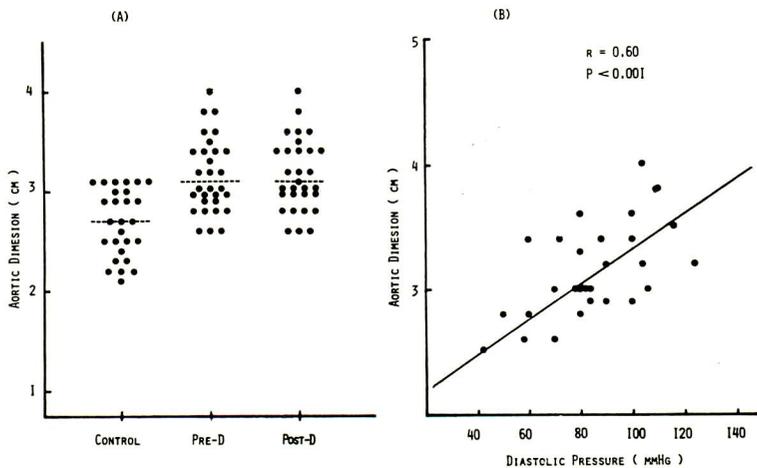
mean Vcfは透析による有意な変化はなく、対照群との間にも有意差はなかった (Figure 7B).



**Figure 4. Changes in left atrial dimension (LAD) and diastolic closure rate (E-F slope).**

A) LAD increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $3.2 \pm 0.5$  cm to  $2.6 \pm 0.4$  cm,  $p < 0.001$ ) and reaching normal range after dialysis ( $2.8 \pm 0.5$  cm).

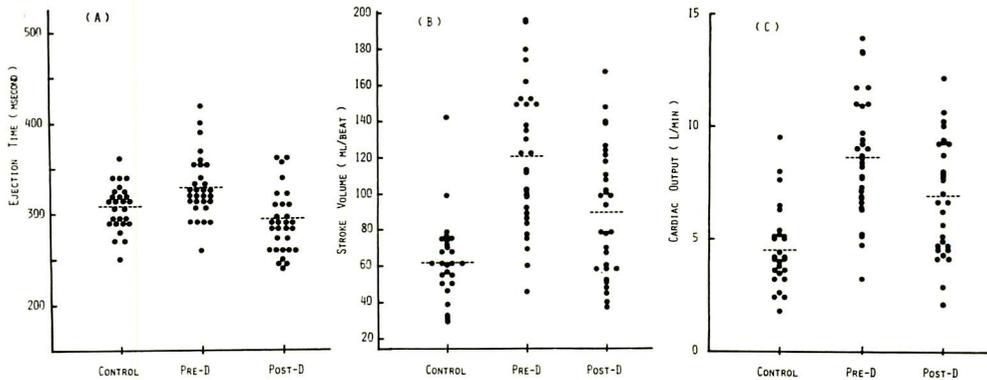
B) E-F slope before dialysis was significantly lower than that of normal subjects ( $84 \pm 22$  mm/sec to  $105 \pm 23$  mm/sec,  $p < 0.01$ ) dropping further after dialysis ( $69 \pm 21$  mm/sec,  $p < 0.001$ ).



**Figure 5. Change in aortic dimension (AoD) and the comparison with diastolic pressure level.**

A) AoD increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $3.1 \pm 0.4$  cm to  $2.7 \pm 0.3$  cm,  $p < 0.001$ ) and was not altered significantly after dialysis ( $3.1 \pm 0.4$  cm).

B) Comparison of the AoD and diastolic pressure in uremic patients. There was significant correlation between AoD and diastolic pressure ( $r = 0.60$ ,  $p < 0.001$ ).

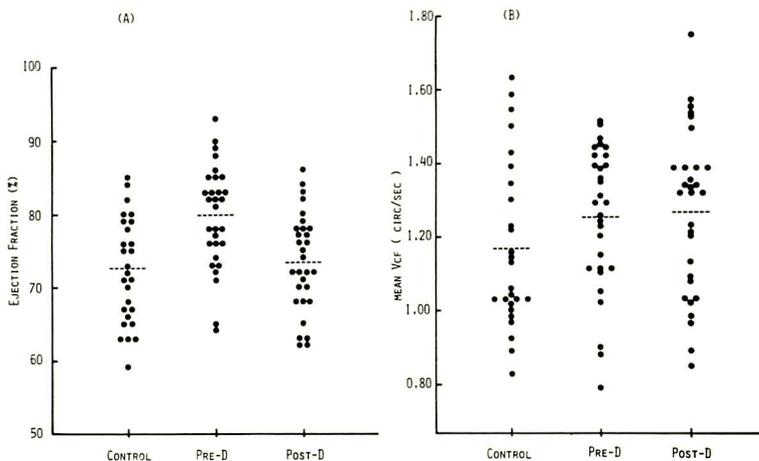


**Figure 6. Changes in ejection time (ET), stroke volume (SV), and cardiac output (CO).**

A) ET was significantly prolonged before dialysis compared with normal subjects ( $330 \pm 33$  msec to  $309 \pm 32$  msec,  $p < 0.05$ ) reaching to normal ranges after dialysis ( $294 \pm 39$  msec).

B) SV increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $120 \pm 39$  ml to  $62 \pm 24$  ml,  $p < 0.001$ ) and reduced significantly after dialysis ( $89 \pm 35$  ml,  $p < 0.001$ ), though remained above normal range ( $p < 0.005$ ).

C) CO increased significantly before dialysis compared with normal subjects ( $8.6 \pm 2.6$  L/min to  $4.5 \pm 1.8$  L/min,  $p < 0.001$ ) and reduced significantly after dialysis ( $6.9 \pm 2.4$  L/min,  $p < 0.001$ ), though remained above normal range ( $p < 0.001$ ).



**Figure 7. Changes in ejection fraction (EF) and mean Vcf.**

A) Ejection fraction (EF) increased significantly compared with normal subjects ( $80 \pm 7\%$  to  $73 \pm 7\%$ ,  $p < 0.001$ ) and fell within normal range ( $73 \pm 7\%$ ) after dialysis.

B) The mean Vcf before dialysis was similar to that in normal subjects ( $1.25 \pm 0.19$  circ/sec to  $1.17 \pm 0.23$  circ/sec) and was relatively unaffected by dialysis ( $1.26 \pm 0.22$  circ/sec).

## 考 察

### EDD と LAD について

腎不全患者は慢性の圧・容量負荷の状態にあり、心不全を有する症例は勿論<sup>4)</sup>、心不全のない症例でも血漿量 (PV)、あるいは血液量 (BV) が増加していると報告されている<sup>2)5)</sup>。一回の透析で PV は著明に減少し、Greco ら<sup>1)</sup>によれば、 $3410 \pm 860$  ml から  $2820 \pm 880$  ml とおよそ 17% 減少し、Hampers<sup>2)</sup> らは平均 10.8% 減少すると報告している。

この基本的な PV の増加と透析による急激な PV の低下が、腎不全患者の血行動態を特徴づけるものであり、持続的な圧・容量負荷を反映して左心系 (左室・左房) の拡大がおきてくることは十分予測しうることと思われる。

透析による心容積の変化について Strangfeld らの報告<sup>8)</sup>がある。彼らは心不全のない14人の腎不全患者について X線学的に心容積の変化を検索しているが、それによると、透析で平均 1009 ml から 863 ml と有意に心容積が縮小したとしている。しかし、選択的に各心室容積を求めたものではなく、心臓全容積を比較したにすぎず、どの心室が優位に変化したかは示されていない。

興味深いことに我々の症例では、透析による PV の低下に対し EDD, ESD, LAD はそれぞれ特徴ある変化を示した。LAD は透析後大きく減少し正常値に近づくのに対し、EDD は減少するものなお正常値より有意に大きく、ESD は全く有意な変化を示さなかった。心室径の変化は心容積変化の反映であり、同じ PV の低下に対して、左房容積 (LAV) が左室容積 (LVV) よりも大きな変化を示す可能性があることを示唆していると思われる。さらに LAD が透析後正常範囲にまで減少したことは、左房は PV の増加に対して、単に可逆性のある範囲で拡大していたことを示している。一方 EDD は透析後も正常上界を超えており、可逆的な拡大のみではなく、急激な PV の減少ではすみやかに縮小し得ない拡大も

おきていることを示すものと考えられる。PV の低下に対する左室と左房の反応性の差が、何に由来するか明確ではない。しかし少なくともその一部は、本来左房は左室に比べ拡張しやすいという性質を持っていることや、病態生理学的に、左房は左室が十分に機能している限り、比較的負荷を受けにくい所に位置していることに関係しているものと思われる。腎不全患者に見られるような左房と左室の反応性の差が、健常者にも同様に見られるかどうか明らかではない。しかし、慢性の圧・容量負荷があると拡張期の左室伸展性が低下<sup>10)11)</sup>するとされており、健常者に比べると、腎不全患者の左室の方が PV の変化を反映しにくい状態、即ち伸展性が低下している状態にあることは予測され得る。

### E-F slope について

有意な僧帽弁疾患がない場合、E-F slope は左室の filling rate<sup>12)</sup>や、僧帽弁血流量<sup>13)14)</sup>により影響されると考えられている。腎不全患者では、僧帽弁血流量が増えているにもかかわらず、E-F slope は著明に低下しており、左室 filling rate の低下の影響を強く受けているものと思われる。透析後 E-F slope はさらに低下するが、SV の低下を反映するものと思われる。

### AoD

腎不全患者の AoD は有意に拡大しており、PV の低下に対して変化を示さない。AoD は拡張期血圧と有意な正の相関を見せているが、腎不全患者の血圧は、透析による血圧の降下からも予測しうるように、PV の影響を強く受けており、圧因子と容量因子を区別して評価することは困難と思われる。従って、拡張期血圧と相関したということは、それが必ずしも主要な原因となり、AoD を拡大させたことを意味するわけではないものと思われる。

### CO, SV および ET について

腎不全患者は心不全がない限り、CO は増加していると考えられている。<sup>13)~5)7)8)</sup>透析により心不全を有する症例では CO は増加<sup>4)</sup>するが、心不

全のない症例ではむしろ低下<sup>3)</sup>もしくは不変<sup>4)8)</sup>と報告されている。Nefe<sup>5)</sup>らはCO増加の理由として貧血をあげており、腎不全患者にhematocritが30%になるまで輸血するとCOは正常化したと報告している。腎不全患者は、ほとんどの場合強い貧血を呈しており、我々の症例でも平均hematocritは21.5%と極めて低く、貧血がCOを増加させる大きな要因の1つになっていると考えられる。

Kim<sup>7)</sup>らは75人の腎不全患者について色素希釈法でCOとSVを求め対象群と比較している。それによると、対象群に比べHRは増加していたが、SVは差がなかったとし、HRの上昇がCOを増加させた主因と結論している。これに対し、Strangfeld<sup>8)</sup>らは放射性同位元素を用い、SVを求めているが、それによると対象群の106 mlに対し、腎不全患者は148 mlと著明に増加しており、Kimらとは異なった結果を報告している。我々の症例では、腎不全患者と対象群との間に有意なHRの差を認めず、腎不全患者はSVが対象群より明らかに増加しており、Strangfeldらと同様な結果を得た。Kimらの腎不全患者の平均HRは90±11 beats/minと我々の72±8 beats/minに比べると極端に大きく、標本集団に違いがあるものと思われる。

透析後SVは低下しているが、容量負荷の軽減によるものと思われる。ETも同様に低下<sup>6)8)9)</sup>するが、SVの低下を反映しているものであろう。

EFとmean Vcfについて

左室機能を評価する方法として、EFやmean Vcfのような駆出期の指標は等容収縮期の指標に比べると、容量負荷の変動による影響を受けにくいとされており、<sup>15)-20)</sup>とくにmean Vcfは信頼性が高いとする報告<sup>19)20)</sup>がある。透析では容量負荷の軽減が主体であり、比較的血压の変動は少ないとされている。<sup>3)4)6)8)9)</sup>従って、透析前後の左室機能評価には、これらの駆出期の指標が適しているものと考えられる。EFは透析前は健常者より有意に大きかったが、透析後は正常範囲となって

おり、容量負荷の軽減を示すと考えられる。mean Vcfは透析による有意な変動はなく、正常範囲内である。EFとmean Vcfで評価する限り、腎不全患者には有意な心機能の低下はなく、透析による心機能の改善もないことを示唆している。

## 要 約

UCGを用いて、血液透析の心臓におよぼす影響を検討した。

- 1) 血液透析前は左室拡張期径(EDD)、左房径(LAD)が、対照群より有意に増大していた。透析後、EDD、LADはともに減少したが、LADが正常範囲となったのに対し、EDDはなお、正常より大であった。これは腎不全患者での血漿量(PV)の変化の影響が、EDDよりも、LADの方にあらわれやすいことを示唆するものと思われる。
- 2) 腎不全患者のE-F slopeは対照群より有意に低下しており、左室(LV)のfilling rateが低下している可能性を示すと考えられる。
- 3) 腎不全患者の心拍出量(CO)は駆出量(SV)の増加のため、対照群に比べると著明に増加していた。
- 4) SVと駆出時間(ET)は透析後ともに減少するが、いずれも、容量負荷の軽減を反映しているものと思われる。
- 5) 左室機能を駆出率(EF)およびmean Vcfで評価する限り腎不全患者に有意な心機能障害は認められず、透析による心機能の改善もない。

UCG検査に多大の協力を得た後藤クリニックの波戸みどり検査技師に謝意を表します。

## 文 献

- 1) Greco F, Shere J, Simon NM: Hemodynamic effect of hemodialysis in chronic renal failure. *Trans Amer Soc Artif Int Organs* 10: 353-355, 1964
- 2) Hampers CL, Skillman JJ, Lyons JH, Olens JE, Merrill JP: A hemodynamic evaluation of bilateral nephrectomy and hemodialysis in hypertensive man. *Circulation* 35: 272-288, 1967

- 3) Goss JE, Alfrey AC, Vogel JHK, Holmes JH: Hemodynamic changes during hemodialysis. *Trans Amer Soc Artif Int Organs* **13**: 68-74, 1967
- 4) Greco F, Somon NM, Roguska J, Walker C: Hemodynamic studies in chronic uremia. *Circulation* **40**: 87-95, 1969
- 5) Nefe MS, Kim KE, Persoff M, Onesti G, Swartz C: Hemodynamics of uremic anemia. *Circulation* **43**: 876-883, 1971
- 6) Prakash R, Wegner S: Indirect assessment of left ventricular function following hemodialysis in patients with chronic renal disease. *Amer J Med Sci* **264**: 127-133, 1972
- 7) Kim KE, Onesti G, Schwartz AB, Chinitz JL, Swartz C: Hemodynamics of hypertension in chronic end-stage renal disease. *Circulation* **46**: 456-464, 1972
- 8) Strangfeld D, Günther KH, Bohm R, Günther H, Buchali K, Dutz H: Cardiac function in chronic renal failure before and after hemodialysis. *Cardiology* **58**: 109-117, 1973
- 9) Bornstein A, Zambrano SS, Morrison RS, Spodick DH: Cardiac effects of hemodialysis: non-invasive monitoring by systolic time interval. *Amer J Med Sci* **269**: 189-192, 1975
- 10) McCullagh WH, Covell JW, Ross J Jr: Left ventricular dilatation and diastolic compliance changes during chronic volume overloading. *Circulation* **45**: 943-951, 1972
- 11) Grossman W, McLaurin LP, Stefadouros MA: Left ventricular stiffness associated with chronic pressure and volume overloads in man. *Circulat Res* **35**: 793-800, 1974
- 12) Quinines MA, Gaasch WH, Waisser E, Alexander JK: Reduction in the rate of diastolic descent of the mitral valve echogram in patients with altered left ventricular diastolic pressure volume relations. *Circulation* **49**: 246-254, 1974
- 13) Fischer JC, Chang S, Konecke LL, Feigenbaum H: Echocardiographic determination of mitral valve flow (abstr). *Amer J Cardiol* **29**: 262, 1972
- 14) Laniado S, Yellin E, Kotler M, Levy L, Stadler J, Terdiman R: A study of the dynamic relations between the mitral valve echogram and phasic mitral flow. *Circulation* **51**: 104-113, 1975
- 15) Fortuin NJ, Hood WP, Craige E: Evaluation of left ventricular function by echocardiography. *Circulation* **46**: 26-35, 1972
- 16) Covell JW, Mahler F, O'Rourke R, Ross J Jr: Velocity of left ventricular fiber shortening during acute loading and altered contractility in the conscious dog. *Circulation (Supple IV)* **IV-66**, 1973
- 17) Rankin LS, Moos S, Grossman W: Alternations in preload and ejection phase indices of left ventricular performance. *Circulation* **51**: 910-915, 1975
- 18) Mahler F, Ross J, O'Rourke RA, Covell JW: Effect of changes in preload, afterload and inotropic state on ejection and isovolumic phase measures of contractility in the conscious dog. *Amer J Cardiol* **35**: 626-634, 1975
- 19) Karliner JS, Gault JH, Eckberg D, Mullins CB and Ross J Jr: Mean velocity of fiber shortening. *Circulation* **44**: 323-333, 1971
- 20) Eckberg, Gault JH, Bouchard RL, Karliner JS, Ross J Jr: Mechanics of left ventricular contraction in chronic severe mitral regurgitation. *Circulation* **47**: 1252-1259, 1973