

지속적 동정맥 혈액여과법

계명대학교 의과대학 내과학교실

김 현 철

Continuous Arteriovenous Hemofiltration

Hyun Chul Kim, M.D.

Department of Internal Medicine, Keimyung University School of Medicine, Taegu, Korea

서 론

1977년 Kramer¹⁾에 의해 임상에서 처음 시도된 지속적 동정맥 혈액여과법(continuous arteriovenous hemofiltration, CAVH)은 종래의 혈액투석 치료에 비해 용질의 제거가 서서히 지속적으로 일어나기 때문에 지금은 혈액동상태가 불안정한 급성신부전증의 가장 확실한 치료법으로 각광을 받고 있다. CAVH는 시술하기가 간단 용이할 뿐만 아니라 다량의 수분과 용질을 저혈압의 발생없이 단시간내에 효과적으로 체내에서 제거할 수 있으므로 치료중 완전 비경구적 영양주입을 위시한 다량의 수액을 공급할 수 있는 장점이 있어(Table 1) 최근에는 혈액동상태가 불안정한 급성신부전환자의 치료는 물론 체액과다가 심한 난치성 부종의 치료, 전해질 및 산염기

불균형의 치료로써 그 적용범위가 점차 확장되고 있다 (Table 2). 한편 1980년 Paganini 등²⁾은 이러한 방법을 이뇨제투여에 저항하는 난치성부종의 치료로써 사용하고 이를 slow continuous ultrafiltration (SCUF)이라 불렀다. 여기에서는 CAVH의 기본원리와 수기를 약술하고 CAVH의 단점을 극복하기 위한 새로운 몇가지 혈액여과법들을 간략히 소개하고자 한다.

1. 기본 원리

CAVH의 기본원리와 수기는 Fig. 1과 같이 혈액펌프를 사용하지 않고 투과성이 우수한 혈액여과막을 환자의 혈액이 통과하는 동안 환자의 동정맥압 차이에 의해 지속적으로 여과시키는 한편, 혈장과 조성이 비슷한 보충액을 투여함으로써 수분, 전해질 및 산염기 평형을 안정되게 유지하는 새로운 체외순환 치료방법이다. 기본적인 원리는 혈액투석이나 복막투석에서는 용질의 이동이 확산(diffusion)에 의해 일어나는 데 반해 CAVH에서는 대류(convection)에 의해 일어나는 데에 있다.

현재 CAVH에서 사용되고 있는 혈액여과막의 재질과

Table 1. Advantages and Disadvantages of CAVH

Advantages	
Slow, continuous treatment	
Ideal for hemodynamically unstable patients	
Flexibility in fluid balance	
No machine	
Technically simple, easy procedure	
Disadvantages	
Risk for arterial cannulation	
Patient confinement to the bed	
Strict fluid & vital sign monitoring	
Low efficiency in terms of solute clearance	
Staff unfamiliarity	

Table 2. Indications for CAVH

Hemodynamically unstable patients with renal failure
Respiratory compromise in renal failure
Cardiogenic shock with pulmonary edema
Refractory edema
Diuretic resistant hypernatremia
Parenteral nutrition restricted because of hypervolemia

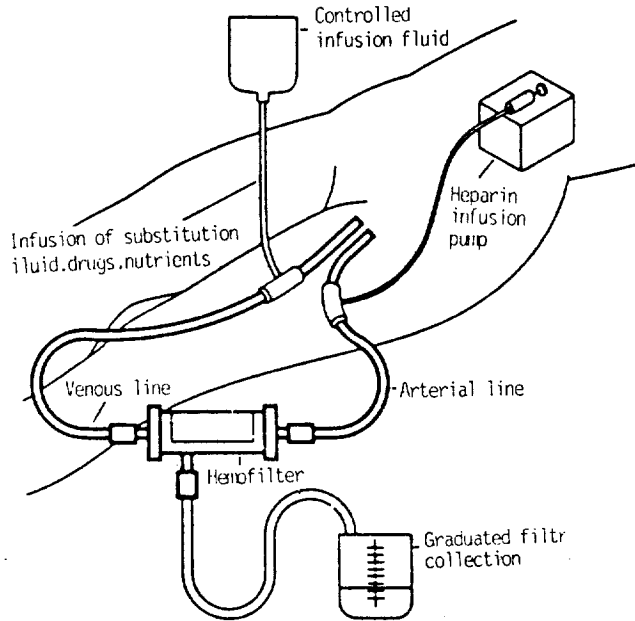


Fig. 1. CAVH using femoral artery and vein accesses.

Table 3. Commercially Available CAVH Hemofilters

Filter	Type	Surface area, m ²	Length, cm	Priming, ml	Membrane
Amicon Minifilter	HF	0.015	9	6	A. polysulphon
Amicon D 20	HF	0.25	12.5	20	A. polysulphon
Amicon D 30	HF	0.55	20.0	40	A. polysulphon
Asahi CS	HF	0.50	19	35	PAN 150
Fresenius AV 400	HF	0.70	22.0	48	A. polysulphon
Gambro FH 22	HF	0.16	15	11	A. polyamide
Gambro FH 55/FH 66	HF	0.60	14.0	43	A. polyamide
Hospal SCU/CAVH	PL	0.50	30.0	60	PAN 69S

표면적은 제조회사에 따라 다양한 종류가 나와 있다 (Table 3). 여과막의 재료는 polysulfon, polyamide, polyacrylonitrile (PAN), polymethylmethacrylate (PMM) 등이 사용되고 있으며 표면적은 신생아 및 소아 용의 0.13 m²부터 성인용의 0.7 m²까지 다양하다. 혈액 여과막은 혈액투석시 사용되는 cuprophane 막에 비해 수분에 대한 투과성이 20~25배 높으며 제거되는 용질의 분자량 크기는 50,000 Dalton 이하로써 특히 중분자 물질의 제거율이 뛰어나다. 각 용질의 여과막을 통한 이동에는 용질의 분자량, 물리화학적 특성, 단백질합능, 적혈구내 수분분포 등이 관여되는데 분자량 50,000

Dalton 이하의 용질의 여과액내의 농도는 혈장과 동일하나 염소와 같이 음전하를 띠는 전해질은 혈장보다 높은 반면 양전하를 띠는 것은 혈장보다 낮다. 저자의 교실에서 측정 한 각 용질의 sieving coefficient는 Table 4와 같다²⁷⁾.

2. 혈관접근 (Vascular Access)

CAVH에서 사용되는 혈관접근으로는 특별히 정해진 것은 없으나 시술하기가 간편하면서 높은 혈류를 얻을 수 있는 대퇴 동맥맥이 흔히 이용되고 있다. 대퇴 동맥맥에 심한 동맥경화증이 있는 경우는 Quinton-Scribner

Table 4. Different Solute Sieving in CAVH

Solute	Plasma	Ultrafiltrate	Sieving Co.
BUN (mg/dl)	86.3 ± 37.3	105.2 ± 49.4	1.360 ± 0.651
Creatinine (mg/dl)	5.7 ± 3.5	6.2 ± 3.9	1.061 ± 0.206
Na (mEq/L)	132.0 ± 6.3	128.0 ± 5.8	0.984 ± 0.041
K (mEq/L)	4.1 ± 0.9	3.9 ± 1.0	0.943 ± 1.108
Cl (mEq/L)	102.9 ± 10.5	106.7 ± 9.5	1.045 ± 0.066
HCO ₃ (mEq/L)	17.3 ± 7.7	17.9 ± 7.1	1.056 ± 0.292
PO ₄ (mEq/L)	7.0 ± 2.3	6.9 ± 3.1	0.966 ± 0.161
Uric acid (mg/dl)	10.5 ± 2.5	9.6 ± 2.4	0.948 ± 0.191
Glucose (mg/dl)	118.4 ± 38.8	173.8 ± 59.2	1.524 ± 0.515
Ca (mg/dl)	8.0 ± 1.3	6.6 ± 1.4	0.809 ± 0.203
Albumin (g/dl)	2.74 ± 0.066	0.88 ± 0.05	0.028 ± 0.020

Table 5. Factors Affecting Ultrafiltration Rate

Hydrostatic pressure (blood pressure, blood flow, blood access, UF column height, UF suction)
Oncotic pressure
Viscosity
Length and width of blood lines
Hemofilter blood pathway patency
Venous back pressure
Filter surface area and intrinsic membrane characteristics

Table 6. Example of CAVH Replacement Solution Used in Keimyung University Hospital

Na ⁺	140 mEq/L
K ⁺	3.5 mEq/L
Cl ⁻	107 mEq/L
Ca ⁺⁺	4.5 mEq/L
HCO ₃ ⁻	29 mEq/L

shunt나 Buselmeier shunt를 설치하여 시행할 수 있으며 그의 만성신부전환자에서는 혈액투석시 사용하던 기존의 동정맥루를 그대로 사용할 수도 있다.

CAVH치료중 얻어지는 한외여과압은 환자의 동정맥압차에 의해 형성되며 한외여과량은 정수압, 교질삼투압, 혈액의 점도, 혈액회로의 길이와 폭, 혈액여과막의 개방율, 여과막의 표면적 및 투과성에 의해 크게 좌우된다(Table 5). 한외여과에 가장 크게 영향을 미치는 정수압은 환자의 혈압, 혈류량, 혈관 접근의 방법에 크게 좌우되며 그중에서 혈압과 혈류량은 한외여과량에 직접적인 영향을 미친다. 적당한 한외여과량을 얻기 위해서는 적어도 평균동맥압이 60 mmHg 이상은 되어야 한다³⁻⁴⁾. 이 이하의 혈압에서 한외여과를 얻기 위해서는 혈액펌프를 사용해야 하며 혈액펌프를 사용하지 않는 CAVH에서 여과막으로 흐르는 혈류는 대부분은 90 ml/min 이하인 것으로 알려져 있다³⁻⁴⁾.

3. 항응고법

치료 시작하기전 우선 헤파린 5000 IU/L를 섞은 생리 식염수 2000 ml로 혈액여과막을 씻어둔 후 치료시작과 동시에 헤파린 2000 IU를 정맥주사하고 이어서 매시간 당 10 IU/kg의 헤파린을 지속적으로 주입하거나 PTT나 여과막을 흐르는 혈류량에 따라 투여량을 조절할 수 있다. CAVH 치료를 요하는 환자들은 다발성 장기부전 증후군과 같은 중독한 경우가 대부분이므로 출혈성 소인이 있는 환자가 많다. 출혈성소인이 있는 환자에게는 헤파린 용량을 5 IU/kg 정도로 감량하거나⁵⁾ PTT가 연장되어 있고 혈소판 수가 100,000이하인 경우는 헤파린을 전혀 사용하지 않고도 CAVH를 시행할 수도 있다⁶⁾. 심한 혈소판감소증이나 과중성 혈관내응고 등의 출혈소인이 있는 환자에게 국소헤파린 요법⁷⁾, prostacycline 등⁸⁾이 이용되고 있으며 최근 항혈전성 재질로 특수 처리한 여과막이 효과적이라는 보고가 있다⁹⁾.

4. 보충액

CAVH는 단위시간당 다량의 수분과 용질이 제거되므로

로 저체액량상태를 방지하기 위해 투여하는 보충액의 양과 조성은 환자 개인의 산염기 및 전해질 균형과 치료 목적에 따라 개별적으로 조절해야하며 보충액은 대체로 정상 혈장과 비슷한 조정을 하고 있다(Table 6).

일반적인 경우 보충액의 투여량은 한외여과량의 75~90%가 적당하나 수분과잉이 심한 환자에서 부종을 제거할 경우는 한외여과량의 50% 정도만 보충하면 된다. CAVH 치료중 투여되는 보충액량이 1일 15~20L에 달할 수 있으며 다량의 보충액투여로 인한 경비도 상당하므로 경비 절감을 위한 보충액 투여방법의 연구가 현재 진행중에 있다¹⁰⁾.

보충액의 투여방법중 전희석법(pre-dilution method)은 한외여과율과 용질의 제거율이 높고 혈액의 점도를 감소시켜 헤파린 투여량을 줄일 수 있는 장점이 있는데 비해 후희석법(post-dilution)은 한외여과율 저하로 인해 보충액의 요구량이 적게 드는 반면 여과막의 응고가 잘 일어난다^{11~12)}. 대류에 의해 한외여과가 일어나는 CAVH에서는 혈청 creatinine치는 보충액량에 역비례하므로 질소혈증을 낮게 유지하기 위해서는 가급적 많은 양의 보충액 투여가 필요하며 한외여과량에 따른 혈청 creatinine치와의 상관관계는 Fig. 2와 같다.

5. 합병증

CAVH에 사용되는 혈액여과막은 생체적합성이 우수하여 보체활성화에 의한 저산소혈증, 백혈구감소증은 발생되지 않는다. 혈액회로의 꼬임, 부적당한 한외여과, 여과막의 응고 등의 합병증이 CAVH 초창기에 문체시되었으나 지금은 보다 투과성이 우수한 여과막의 개발로 인해 이러한 합병증은 보기 드물게 되었다. CAVH는 비교적 안정된 치료법으로 수기로 인한 치명적인 합병증은 아직 보고가 없으며 일부에서 과도한 한외여과로 인한 저체액량상태²⁾, 여과막 또는 혈액회로의 응고, 혈관접근부위의 출혈, 항응고요법에 따른 출혈이 나타날 수 있으며 극히 드물게 대퇴혈관의 혈전증이 보고되고 있다⁹⁾. Olbricht 등¹³⁾은 CAVH를 시행했던 34예중 20%에서 위장관 출혈이 있었으나 급성신부전에서 위장관출혈의 빈도가 10~40%인 점을 감안하면 CAVH시 출혈이 반드시 헤파린 사용으로 인한 것으로 단정할 수 없다고 하였다.

6. 급성신부전증의 치료로서 CAVH

CAVH 치료를 받았던 급성신부전의 예후는 여전히 불량한 것으로 보고되고 있는데 이는 이들 대부분이 신

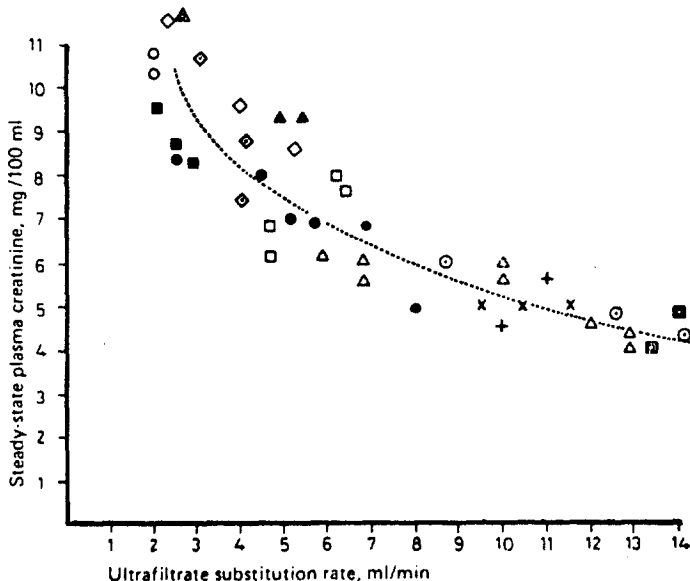


Fig. 2. Relationship between hemofiltrate substitution rate and plasma creatinine in patients treated for acute renal failure by CAVH.

부전 자체보다는 원인질환의 악화에 의해 사망하기 때문이다. 급성신부전의 치료로 CAVH를 시행하였던 Weiss 등¹⁴⁾의 성적에 의하면 전체적인 사망율이 55%로써 종래의 투석요법에 의한 사망율과 큰 차이가 없이 여전히 높았으나 대상환자의 대부분이 승압제나 인공호흡기를 사용하였던 중독한 다장기부전증후군 환자였던 점을 고려한다면 생존율이 상대적으로 높은 편이었으며 심장수술후 발생한 급성신부전 환자의 경우 CAVH 치료로 생존율이 35%로 증가하였음을 보고하였다. 급성신부전증의 치료로서 CAVH와 다른 치료법과의 성적을 잘 대조 비교한 연구가 없어 확실히 말하기는 어려우나 수술후 발생한 신부전환자의 치료로 CAVH 치료를 시행한 Bartlett 등¹⁵⁾은 비경구 영양수액요법으로 충분한 영양보충을 할 수 있음으로 인해 이들 환자의 생존율을 유의하게 증가시켰음을 보고하였다¹⁵⁾.

새로이 개발된 혈액여과법

CAVH 치료는 몇가지 결점을 갖고 있는데(Table 1 참고)이 가운데서도 CAVH는 urea 및 creatinine과 같은 저분자 요독물질의 제거율이 낮으므로 특히 이화작용이 심한 환자의 요독증 치료에는 역부족인 것으로 알려져 있다¹⁶⁾. CAVH에서 여과율을 증가시키기 위한 방법으로 여과구에 진공흡입기의 부착¹⁷⁾, 보충액의 전회석 투여법¹⁸⁾이 시도되었으나 얻는 효과에 비해 여과막 응고와 같은 부작용이 더 큰 문제로 대두되었다.

최근 CAVH의 결점을 보완한 지속적 동정맥 혈액여과투석법, 지속적 정정맥 혈액여과법, 간헐적 정정맥 혈액여과법 등이 CAVH를 대신할 수 있는 새로운 치료법으로 각광을 받고 있다.

1. 지속적 동·정맥 혈액투석여과법(Continuous Arteriovenous Hemodiafiltration, CAVHD)

Geronemus 등¹⁹⁾은 CAVH에서 여과율을 증가시키기 위해 CAVH 치료중 여과구에 투석액을 통과 시킴으로써 용질의 대류와 확산이 동시에 일어나는 CAVHD를 시행하여 요독증을 보다 효과적으로 조절할 수 있음을 보고하였다. Pattison 등²⁰⁾은 CAVHD로 패혈증이 나 위장관출혈과 같이 이화작용이 심하지 않는 신부전의 경우 BUN치를 40~60 mg/dl, 혈청 creatinine치를 1.4~4.0 mg/dl로 낮게 유지할 수 있음을 보고하였다.

CAVHD의 문제점으로는 투석액을 사용해야되는 번거로움 외에도 유산중의 악화²¹⁾, 대사성 알칼리증²²⁾ 등의 합병이 보고되어 있고 투석액 투여로 인한 한외여과량의 감소, 투석액의 혈액내로의 역류²³⁾ 등의 문제점이 대두되어 있다.

2. 지속적 정·정맥 혈액여과법(Continuous Venovenous Hemofiltration, CVVH)

CAVH의 단점으로는 혈관접근으로 대퇴동맥과 정맥을 각각 천자해야 하는 부담과 환자의 평균동맥압이 60 mmHg이하로 떨어질 경우 한외여과를 얻을 수 없는 점, 한외여과량은 환자의 혈압에 좌우되므로 임의로 혈류량을 증가시킬 수 없는 점 등이다.

1985년 Louis 등²⁴⁾은 혈관접근으로서 동맥을 천자하지 않고 대퇴정맥에 2개의 도관을 삽입하고 한외여과압을 얻기 위해서 혈액펌프를 사용하여 혈액여과막으로 흐르는 혈류량을 분당 150 ml로 하여 CVVH를 시도하여 시간당 한외여과율을 1300 ml로 증가시킬 수 있었으며 이로 인해 BUN치 및 혈청 creatinine치를 유의하게 감소시킬 수 있음을 보고하였다. 또한 CVVH에는 혈류량의 증가로 인해 혈액여과막의 응고도 적게 생긴다.

수술후 발생한 급성신부전환자를 대상으로 CAVH와 CVVH 치료를 서로 비교한 Storck 등²⁵⁾은 1일 한외여과량이 CAVH에서는 7.0L인 반면 CVVH에서는 15.7 L로써 2배이상 유의하게 높았으며 BUN 및 혈청 creatinine치도 CAVH에 비해 더욱 낮게 유지할 수 있음을 보고하였다.

CVVH에서는 CAVH에 비해 동맥을 천자하지 않아도 되는 장점이 있을 뿐만 아니라 쇄골하정맥에 2중내강 케테테르를 삽입하면 환자의 몸을 침상에서 자유롭게 움직일 수 있는 장점이 있다. 그의 여러가지 도관관련 합

Table 7. Operation Data

	CAVH (n=33)	CVVH (n=25)	P value
Duration of treatment (hr)	49.4±26.8	45.3±48.6	NS
MAP (mmHg)	108±31	111±20	NS
Pulse rate	95±19	96±14	NS
UFR (ml/hr)	428±262	799±349	<0.001

MAP = Mean arterial pressure

Table 8. Complications

	CAVH (n=33)	CVVH (n=25)	P value
Hypotension	7 (21.1%)	6 (24.0%)	NS
Filter clotting	9 (27.3%)	6 (24.0%)	NS
Bleeding at access site	1 (3.0%)	2 (8.0%)	NS

병증이 적으므로 Macias 등²⁶⁾은 CVVH는 앞으로 CAVH를 대체 시킬 수 있는 새로운 혈액여과법이라 하였다.

저자의 경험에서도²⁸⁾ CVVH 치료군에서 시간당 한외여과율이 유의하게 높았으며 합병증에는 유의한 차이가 없었다(Table 7, 8).

결 론

CAVH를 위시한 지속적 혈액여과법은 혈액동상태가 불안정하여 종래의 혈액투석이나 복막투석 치료가 불가능한 중독한 신부전증 환자의 새로운 신대체요법으로 확고한 위치를 차지하고 있다. 지속적 혈액여과치료법이 이들 중독한 신부전환자의 예후를 뚜렷이 증가시켰다는 확고한 근거는 아직 없으나 종래의 투석요법으로는 치료 불가능한 환자에게 치료를 가능케 함으로써 생존의 가능성과 치료 기회를 주고 있으며 치료중 비경구 영양공급을 포함한 과감한 수액요법은 이들 환자의 생존율은 높이는 데 공헌하였으리라 생각된다. 앞으로 급성신부전증의 병태생리의 보다 완전한 이해와 규명이 있으면 급성신부전 치료의 새로운 장이 열릴 것으로 기대된다.

통상적인 치료에 반응하지 않는 난치성 부종의 치료로써 지속적 혈액여과법은 지금까지 나온 어떠한 치료법보다 우수한 치료법으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Kramer P, Wigger W, Rieger J, et al: *Arteriovenous haemofiltration: A new and simple method for treatment of overhydrate patients resistant to diuretics.* *Klin Wochenschr* **55**:1121-1122, 1977
- 2) Paganini EP, Nakamoto S: *Continuous slow ultrafiltration in oliguric renal failure.* *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **26**:201-204, 1980

- 3) Kramer P, Kaufhold G, Grone HJ, et al: *Management of anuric intensive-care patients with arteriovenous hemofiltration.* *Int J Artif Organs* **3**:225-230, 1980
- 4) Lauer A, Saccaggi A, Ronco C, et al: *Continuous arteriovenous hemofiltration in the critically ill patient.* *Ann Intern Med* **99**:455-460, 1983
- 5) Kramer P: *Continuous arteriovenous hemofiltration: a physiologic and effective kidney replacement therapy.* *Contr Nephrol* **44**:236-247, 1985
- 6) Kaplan AA, Longnecker RE, Folkert VW: *Continuous arteriovenous hemofiltration.* *Ann Intern Med* **100**:358-367, 1984
- 7) Schetz M, Lauwers P, Ferdinande P, et al: *The use of continuous arteriovenous hemofiltration in intensive care medicine.* *Acta Anaesthesiol Belg* **35**:67-78, 1984
- 8) Ota K, Kawaguchi H, Takahashi K, et al: *A new prostacyclin analogue-anticoagulant applicable to hemodialysis.* *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **29**:419-424, 1983
- 9) Arakawa M, Suzuki Y, Nogo M, et al: *Development of a new antithrombogenic continuous ultrafiltration system (ACUS) and its clinical evaluation.* *Nephrol Dial Transplant (Suppl)* **2**:49-54, 1991
- 10) Canand B, Imbert E, Assounage A, et al: *Clinical and microbiological evaluation of a post dilutional hemofiltration system with in-line production of substitution fluid.* *Blood Purif* **8**:160-170, 1990
- 11) Henderson LW: *Pre vs. post dilution hemofiltration.* *Clin Nephrol* **11**:120-124, 1979
- 12) Kramer P, Kaufhold G, Grone HJ, et al: *Management of anuric intensive-care patients with arteriovenous hemofiltration.* *Int J Artif Organs* **3**:225-230, 1980
- 13) Olbricht C, Mueller C, Schurek HJ, et al: *Treatment of acute renal failure in patients with multiple organ failure by continuous spontaneous hemofiltration.* *Trans Am Soc Artif Intern Organs* **28**:33-37, 1982
- 14) Weiss L, Danielson BG, Wikstrom B, et al: *Continuous arteriovenous hemofiltration in the treatment of 100 critically ill patients with acute renal failure: Report on clinical outcome and nutritional aspects.* *Clin Nephrol* **31**:184-189, 1989
- 15) Bartlett RH, Mault JR, Dechert RE, et al: *Continuous arteriovenous hemofiltration: Improved survival in surgical acute renal failure?* *Surgery* **100**:400-

- 408, 1986
- 16) Twadowski ZJ, Nolph KD: *Blood purification in acute renal failure. Ann Intern Med* **100**:447-449, 1981
 - 17) Kaplan AA, Longnecker RE, Folkert VW: *Suction-assisted continuous arteriovenous hemofiltration. Trans Am Soc Artif Intern Organs* **29**:408-423, 1983
 - 18) Kaplan AA: *Enhanced efficiency during continuous arteriovenous hemofiltration: The use of predilution. Int Artif Organs* **9**:139-142, 1986
 - 19) Geronemus R, Schneider N: *Continuous arteriovenous hemodialysis-clinical experience. In Acute Continuous Renal Replacement Therapy, edited by Paganini E, Boston, Martinus Nijhoff, 1986, 255-267*
 - 20) Pattison ME, Lee SM, Ogden DA: *Continuous arteriovenous hemodiafiltration: An aggressive approach to the management of acute renal failure. Am J Kidney Dis* **11**:43-47, 1988
 - 21) Agazia B, Lombini C, Guarda L, et al: *Bicarbonate kinetics during biofiltration. Kidney Int* **33**:S120-S122, 1988
 - 22) Davenport A, Worth PD, Will EJ: *Hypochloremic alkalosis after high-flux continuous hemofiltration and continuous arteriovenous hemofiltration with dialysis. Lancet* **1**:658, 1988
 - 23) Golper TA, Leone M: *Backtransport of dialysate solute during in vitro continuous arteriovenous hemodialysis. Blood Purif* **7**:223, 1989
 - 24) Louis F, Suter P, Ruedin P, et al: *Nine months of experience with continuous veno-venous hemofiltration (CVVH) in a surgery intensive care unit. Kidney Int* **28**:592-593, 1988 (Abstr)
 - 25) Storck M, Hartl WH, Zimmer E, Inthorn D: *Comparison of pump-driven and spontaneous continuous haemofiltration in postoperative acute renal failure. Lancet* **337**:452-455, 1991
 - 26) Macias W, Muller BA, Scarim SK, et al: *Continuous veno-venous hemofiltration: An alternative to continuous arteriovenous hemofiltration and hemodiafiltration in acute renal failure. Am J Kidney Dis* **18**:451-458, 1991
 - 27) 김현철, 정태훈, 전재훈, 박성배, 강문규, 이경민: 급성신부전 및 난치성부종의 치료로서 동.정맥 혈액여과법. *대한신장학회지* **10**:175, 1991
 - 28) 김현철, 이수형, 박성배: 급성신부전 및 난치성부종의 치료로서 지속적 동정맥 혈액여과법과 지속적 정정맥 혈액여과법의 비교 연구. *대한신장학회지* **11**:146, 1992