

# 혈액투석 중 생체 내 용질 이동 및 초 여과에 의한 삼투압 변화에 따른 심혈관계 응답에 관한 수치적 연구

임기무\*, 민병구\*\*, 고흥중\*\*\*, 심은보\*\*\*\*

## 1. 서론

혈액투석 시스템과 인공재료들의 발달에도 불구하고, 현재 혈액투석 중의 합병증들은 여전히 문제로서 남아있다. 주된 합병증으로는 저혈압증 및 disequilibrium syndrome 이다. 이 합병증들의 원초적인 원인은 아직까지 확실히 밝혀지지 않았지만, 현재까지 우리가 알고 있는 것은 초 여과에 의한 혈액의 갑작스런 감소와, 혈액 내 용질들의 농도변화에 의한 intracellular 와 extracellular pool 사이의 삼투압균형이 깨짐 으로서 생기는 체액의 이동이 주된 원인이다. 본 연구에서는 심혈관계 모델<sup>(1)</sup> 과 혈액투석 생체모델<sup>(5)</sup>을 결합하여 투석 액의 Na<sup>+</sup> 농도의 변화 (hyponatric, neutral, hypernatric dialysate)에 따라 심혈관계 모델에서의 응답을 알아 봄으로서 합병증의 여부를 예측해보기로 한다.

## 2. 본론

### 2.1 심혈관계 모델

심혈관계 모델은 12개의 compartments 로 구성되며 저항, 커패시터 의 선형전기 소자로 Windkessel model을 이루며 이 모델은 연립 선형 1계 미분방정식으로 표현된다.

### 2.2 자율조절 신경계 모델

이 모델은 동맥 압 조절 신경계로서 동맥 압 receptor 로부터 정보를 받아 setpoint 동맥 압과의 차이를 보상하기 위해 HR(Heart Rate), SAR(Systemic Arterial Resistance), ZPFV(Zero Pressure Filling Volume) 을 조절하는 기전이다.

### 2.3 혈액투석 생체모델

이 모델에서는 intracellular 와 extracellular compartments 에서의 4가지 주된 용질들을 고려한다. (urea, creatinine, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) Intracellular compartment 에서 extracellular compartment 로의 용질이동률은 둘

사이의 농도차이에 선형적으로 비례하고, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 과 같은 전해질들은 농도차이에 의한 수동적 이동 (channel) 과, 능동적인 이동 (pump) 또한 고려되었다.

## 3. 결론

Fig. 1은 투석 액의 Na<sup>+</sup> 농도에 따라 투석 세션 동안과 투석 세션 직후의 심박동수의 변화를 보여준다. 투석 세션 동안 심박동수가 증가하다가 세션 직후부터 다시 줄어드는 것을 볼 수 있다. hyponatric dialysate 일 경우에 가장 많이 증가하고, hypernatric dialysate 일 경우에 가장 적게 증가하고, 투석 후 4시간이 지난 후에는 원래 심박동수보다 작은 것을 볼 수 있다. Fig. 2-a 에서는 투석 세션 동안 의 좌심실 컴플라이언스 의 변화를 보여준다. 투석 중에 감소하고 투석 후 다시 증가하는 것을 볼 수 있는데, hyponatric dialysate 일 경우에 가장 많이 감소하고, hypernatric dialysate 일 경우에 가장 적게 감소한다. Fig. 2-b 는 신장의 저항의 변화를 보여주는데 투석 중에 증가하고 투석직후 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. hyponatric dialysate 일 경우에 가장 많이 증가하고 hypernatric dialysate 일 경우에 가장 적게 증가 한다. Fig. 2-c 는 신장의 ZPFV(Zero Pressure Filling Volume)의 변화를 보여주는데, 투석 중에 감소하고 투석 후에 증가하는 것을 볼 수 있다. hyponatric dialysate 일 경우에 가장 많이 감소하고, hypernatric dialysate 일 경우에 가장 적게 감소한다.

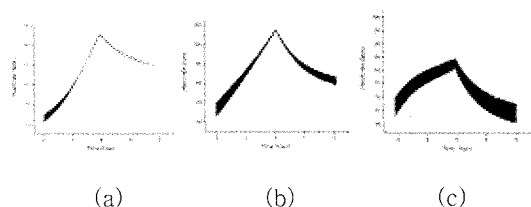


Fig. 1 Time courses of heart rate changes by baroreflex system during 4 hour hemodialys treatment and 4hours for observation with different sodium dialysate concentration. (a : hyponatric dialysate, b : neutral dialysate, c : hypernatric dialysate)

\* 서울대학교 협동과정 의용생체공학 전공

\*\* 서울대학교 의공학 교실

\*\*\* 금오공과대학교 기계 공학부

\*\*\*\* 강원대학교 기계 메카트로닉스 공학부

## 참고 문헌

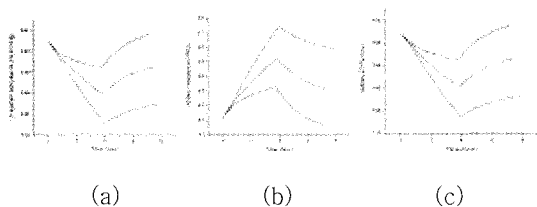


Fig. 2 Time courses of left ventricular systolic compliance changes (a), kidney resistance changes (b) and kidney ZPFV changes (c) by baroreflex during 4 hour hemodialys treatment and 4hours for observation with different sodium dialysate concentration (straight line : hyponatric dialysate, dashed line : neutral dialysate , dotted line : hypernatric dialysate).

- (1) Thomas Heldt, EB Shim, 2002, "Computational modeling of cardiovascular response to orthostatic stress.", *J Appl Physiol* 92, 1239~1254.
- (2) John T. Daugirdas and John C. Van Stone, 2000, "Physiologic Principles and Urea Kinetic Modeling.", *Handbook of Dialysis* 3rd Ed, 15~45.
- (3) Sargent JA, Gotch FA, 1980, "Mathematical modeling of dialysis therapy.", *Kidney Int*, 18(suppl 10), 2~10.
- (4) Ursino M, 1997, "Modeling Arterial Hypotension During Hemodialysis.", *Artificial Organs* 21(8), 873~890.

## 후 기

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea. (HMP-02-PJ3-PG6-EV09-0001)