

Lumped model을 이용한 Hemodialysis의 수치적 연구

임기무* · 심은보** · 민병구*

1. 서론

매일 1시간 동안 투석하는 방법이 일주일에 2~3번, 그리고 매번 3~4시간씩 투석하는 전통적인 혈액투석 기법보다 더 좋은 임상적 결과를 보여주며, 환자의 삶의 질을 높일 수 있도록 한다¹⁾. 그러나 아직까지 실험적 관찰과 병행하여 이에 대한 이론적 해석은 거의 이루어지지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 매일 혈액투석을 할 경우, 가장 효율적인 투석시간을 예측 하기 위해 혈액투석의 수학적 모델을 개발하였다. Urea, Creatinine 및 전해질들의 작용기전을 상미분 방정식으로 표현한 이 모델은 크게 보아 혈액과 투석액의 two compartmental model로 구성되어 있다. 본 논문에서는 일일 투석시 발생할 수 있는 여러 가지 패턴의 투석 방법을 모델링 하고, 이를 계산하여 그 결과를 비교 및 분석 해보았다.

2. 본론

2.1 확산

혈액에서 중공사막 투석필터를 통한 투석액으로의 용질이동을 설명하기 위해서는 두 용액의 농도 차에 의한 확산 기전을 설명해주는 Fick's law를 도입하여야 한다.

$$J = -DA \frac{dc}{dx} = -DA \frac{\Delta c}{\Delta x} \quad (1)$$

$$D(\text{Diffusive coefficient}) = \frac{KT}{6\pi\mu r} \quad (2)$$

K : 1.38×10^{-15} erg/degree Kelvin

T : 온도

μ : 용매의 점도, r : 용질의 반경

만약 식 (1)에서 Δx 의 값이 다른 어떤 투석필터에 대해서 일정 하다면 멤브레인을 통한 용질이동에 영향을 끼치는 주요 변수는 농도차 (Δc)와 면적(A)이 된다. (D는 특정온도에서 특정 용질과 용매에 대해서는 일정함) 따라서 식 (1)은 주요변

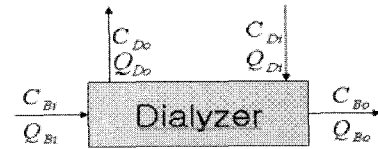


Fig. 1 투석필터를 통한 대항류의 개략도

수의 관하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = -K_o A \Delta C \quad (3)$$

$K_o = \frac{D}{\Delta x}$ (cm/min)는 물질전달 계수 (Overall Mass Transfer Coefficient)로서 투석필터의 고유특성이 된다. Fig. 1과 같은 투석필터의 기하학적 형상과 대항류의 기전을 고려한 Fick's law는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = -K_o A \frac{\int_{C_{Bi}}^{C_{Do}} (C_{Bi} - C_{Do}) - (C_{Bo} - C_{Di})}{\ln[(C_{Bi} - C_{Bo}) / (C_{Bo} - C_{Di})]} \quad (4)$$

2.2. 초 여과

혈액 부분과 투석액 부분의 정수압 차에 의해 생기는 초 여과의 결과로서 용액이 이동 함으로서 용질이동에 영향을 끼치게 된다. 단위 압력경사당 이동되는 용액 나타내는 수치로서 투석필터의 또 하나의 고유특성이 되는 초 여과 계수를 아래와 같이 정의한다.

$$K_{UF}(\text{Ultrafiltration Coefficient}) = \frac{Q_F}{P_B - P_D} \text{ (ml/min/mmHg)} \quad (5)$$

이때 관련 전해질의 농도 및 urea의 시간에 따른 변화는 상미분방정식으로 표현되며, 이를 Runge-Kutta방법으로 풀어 해를 구한다.

3. 계산결과 및 검토

매일 1시간씩 투석하는 경우 3일에 한번 4시간

* 서울대 의대 의공학과

** 강원대 기계공학과

씩 투석하는 전통적인 방식의 투석보다 높은 평균 BUN 수치를 나타내지만 최대 BUN 과 최소 BUN 의 차이는 더 작게 나타났다. 이는 투석 직후 disequilibrium syndrome를 겪는 환자에게는 더 선호되는 방식이라 볼 수 있다. 매일 1시간 30분 투석에 대해서는 평균 BUN 이나 최대, 최소 BUN 의 차이 면에서 모두 전통적인 방법 보다 우월한 결과를 보였다.

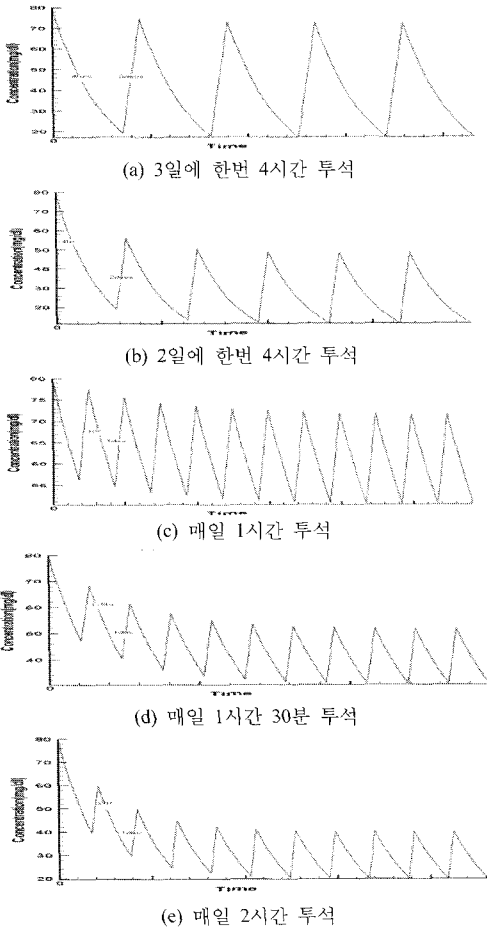


Fig. 2 시간에 따른 Urea 농도변화 (Kuf : 62 ml/h, KoA : 750 ml/min, 몸무게 : 70 kg, 혈류 : 300 ml/min, 투석액 유량 : 500 ml/min, Dialysance : 243ml/min)

매일 투석을 하는 환자의 입장에서 가능한 짧은 투석시간이 삶의 질 향상에 기여를 하므로 짧은 시간 투석을 위해서는 먼저 효율이 높은 투석필터의 개발과 그로 인해 생길 수 있는 disequilibrium syndrome 을 예방하기 위한 환자에 최적의 sodium 및 UF (초 여과) profiling 이다. 이에 대한 투석 모델링의 연구가 더 필요할 것이다.

Table 1 5가지 방식에 투석에 대한 최초, 최대, 평균

BUN	Min	Max	Average
A	18	76	47
B	12	48	30
C	50	73	61.5
D	30	52	41
E	20	40	30

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Sargent JA, Gotch FA: Principles and biophysics of dialysis. Replacement of Renal Function by Dialysis. Ed. By John F.Maher: 3rd ed, pp.87~143, 1989.
- (2) Young-Suk Yoon, M.D. : Principle of Hemodialysis. 대한신장학회잡지: 제7권 부록3호 pp. s1~s7, 1988.
- (3) Pierratos A: Long nocturnal dialysis is better than daily short dialysis. 5th International Symposium on Home Hemodialysis, Charlotte, NC, February, pp.217-221, 1999.
- (4) Susan Robers: Cost of Daily Hemodialysis. ASAIO Journal 47, October 2001, pp.459~461
- (5) Borah MF, Schoenfeld PY, Gotch FA, Sargent JA, WolfsonM, Humphreys MH: Nitrogen balance during intermittent dialysis therapy of uremia. Kidney Int 14, pp.491, 1978.
- (6) Sokolinikoff IS, Redheffer RM: Mathematics of Physics and Modern Engineering. New York, McGraw Hill, p23, 1958.
- (7) Sargent JA, Gotch FA: Is urea generation adaptive? ControvNephrol 1, pp451, 1979
- (8) Richards P, Brown CL: Urea metabolism in an azotemic woman with normal renal function. Lancet 2, pp207, 1981.
- (9) Blumenkrantz MJ, Kopple JD, Moran JK, Grodstein GP, coburn JW: Nitrogen and urea metabolism during continuous ambulatory peritoneal dialysis. Kidney Int 20, pp78, 1981.
- (10) Ursino M. Innocenti M. Mathematical investigation of some physiological factor involved in hemodialysis hypotension. Artif Organs 1997: 21(8), pp891~902.
- (11) John T. Daugirdas and John C.Van Stone: Physiologic Principles and Urea Kinetic Modeling. Handbook of Dialysis 3rd Ed, pp15~45, 2000.