

# 혈액투석용 카테터의 형상에 따른 재순환 비율 분석

송륜근\* · 강우석\* · 이효종\* · 정문영\* · 양효원\* · 조성수\* · 이진기\*

## Analysis of recirculation rate according to shape of hemodialysis catheter

Ryungeun Song\*, Useok Gang\*, Seongsu Cho\*, Hyeonjong Lee\*, Munyeong Jeong\*, Hyowon Yang\* and Jinkee Lee\*

**Abstract :** The tunneled central venous catheter (CVC) for hemodialysis is one of the methods to create a vascular access and its used is limited because of several fatal disadvantages such as high morbidity caused by thrombosis and recirculation of dialyzed blood and infection. In order to overcome these problems, catheters with various tip shapes have been developed, but the conditions of the patients are too wide to adequately analyze the optimal catheter shape. In this study, we analyzed the flow patterns according to various catheter tip shapes through numerical analysis, and obtained data on recirculation degree and thrombosis-related factors in each tip cases. These results can be used to design a new type of optimized catheter tip.

### 1. 서 론

당뇨병 등의 원인에 의해 신장이 정상적으로 활동하지 못하는 만성신부전증(Chronic Renal Failure, CRF) 환자의 경우, 혈액투석(Hemodialysis)과 같은 신장대체요법을 통해 일상생활을 유지한다.

혈액투석을 수행하기 위해서는 투석기와 환자의 혈관을 이어주는 혈관 접근로(Vascular access)가 필요하며, 대표적인 혈관 접근로의 종류로는 동정맥루(Arteriovenous fistula, AVF)와 중심정맥카테터(Central venous catheter, CVC)가 있다. 이 중에서 CVC는 AVF와 달리 접근로 형성 이후 별도의 성숙과정이 필요 없어 곧바로 투석이 가능하며, 환자의 혈관 상태에 영향을 덜 받는다는 장점이 있으나, 혈액투석을 수행하는 과정에서 감염이나 투석한 혈액의 재순환(recirculation) 문제로 장기간 투석이 필요한 환자에 대해서는 사용을 권장하지 않고 있다.<sup>(1)</sup> 하지만 환자의 혈관 상태에 따라서 자가혈관을 사용하는 AVF의 사용이 불가능한 경우가 많아 이들 환자에게는 CVC를 통한 혈액 투석을 수행하고 있다.<sup>(2)</sup>

현재까지 CVC의 문제, 특히 혈액의 재순환 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 종류의 카테터가 개발되었으며, 다양한 형상의 팁을 가진 카테터가 시중에 출시되었다. 하지만 카테터의 팁 형상에 따른 유동특성의 변화에 대한 유체역학적 분석은 비교적 최근에야 시작되었다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 실제 활용되고 있는 상업용 카테터의 팁 형상에 따른 유동현상을 시뮬레이션을 통해서 분석하고, 재순환 발생 여부와 관련된 인자들에 대해서 검토하였다. 이러한 분석 결과는 이후 새로운 형태의 최적화된 카테터를 설계하는데 도움이 될 것이다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1. 카테터 및 혈관 모델링

시뮬레이션을 위한 카테터와 혈관 모델은 3D CAD 프로그램인 Solidworks를 사용하여 제작하였다. 카테터의 팁 형상은 실제 카테터를 바탕으로 모델링하였으며 표. 1은 카테터 모델에 따른 형상 특징을 정리한 것이다. 혈관은 투석 시 카테터의 팁이 위치하게 되는 대정맥(Superior Vena Cava)에 해당하는 원통형 직선관으로, 반지름은 10 mm로 설정하였다.

\* 성균관대학교 기계공학부

Table 1 Design features of tested hemodialysis catheters

Name	Size (FR)	Tip design	Side holes
ProGlide	14.5	Step	Circle
Niagara	13.5	Step	Circle
Palindrome	14.5	Symmetric	Parallelogram
Glidepath	14.5	Symmetric	Circle

## 2.2. 시뮬레이션 및 유동 조건

카테터와 혈관을 통과하는 유동에 대한 시뮬레이션은 Comsol Multiphysics를 사용하여 층류 유동 (laminar flow)을 해석하였으며, particle tracing module을 사용하여 투석기를 통해 노폐물이 제거된 혈액의 경로에 대해서 분석하고자 하였다. 이때 카테터를 통과하는 유동이 기본적인 유입·유출 방향과 일치하는 조건을 정방향, 방향이 반대인 조건을 역방향으로 지정하여 각각에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

혈액의 재순환은 CVC의 주요 문제점 중 하나로 시뮬레이션 분석 결과, 정방향의 조건에서는 모든 팁 형상에서 재순환이 매우 낮은 비율로 발생함을 확인할 수 있었다. 반면에 역방향 조건에서는 Step 형상의 팁을 가진 카테터들에서 유의미한 정도의 재순환이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 Symmetric 형상의 팁을 가진 카테터의 경우에는 역방향에서도 정방향과 유사한 유동 형상을 보여 재순환이 매우 낮은 비율로 나타남을 확인할 수 있었다.

추가적으로 혈전증은 혈관 벽면 등에서 피가 엉겨 붙어 혈전이라 불리는 덩어리가 생기는 증상으로, 전단응력(shear stress)이 지나치게 낮거나 높은 경우에 발생하는 것으로 알려져 있다.<sup>(4)</sup> 시뮬레이션 분석 결과, 측면부의 구멍은 재순환을 감소시키는데 주요한 역할을 하나 혈전 형성을 야기함을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 통해서 카테터의 팁 형상에 따른 유동 특성을 관찰하여 재순환의 발생 여부를 평가하였다. 또한 혈전증과 관련된 인자에 대한 분석을 통해 혈전이 발생할 가능성에 대해서 평가하였다. 이러한 분석 결과는 차후 새로운 형태의 최적화된

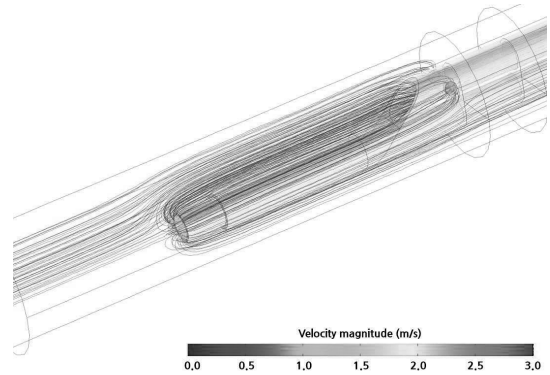


Fig. 1 Stream lines for Niagra catheter in reversed direction. It is observed that the flow from the side tunnel is sucked back through the catheter tip.

카테터를 개발하는데 도움이 될 것이라 기대된다.

## 참고 문헌

- (1) Dhingra, R. K., Young, E. W., Hulbert-Shearon, T. E., Leavey, S. F., Friedrich, K. P., 2001, "Type of vascular access and mortality in U.S. hemodialysis patients," *Kidney Int.*, Vol. 60, pp. 1443~51.
- (2) U.S. Renal Data System, 2014, "2013 Annual Data Report: Atlas of Chronic Kidney Disease and End-Stage Renal Disease in the United States," National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases.
- (3) Clark, T. W. I., Isu, G., Gallo, D., Verdonck, P., Morbiducci, U., 2015, "Comparison of Symmetric Hemodialysis Catheters Using Computational Fluid Dynamics", *J. Vasc. Interv Radiol.*, Vol. 26, pp. 252~9.
- (4) Malek, A. M., Alper, S. L., Izumo, S., 1999, "Hemodynamic shear stress and its role in atherosclerosis," *JAMA*, Vol. 282, No. 21, pp. 2035~42.