뉴턴모델과 비뉴턴모델을 이용한 상지동맥혈관의 혈유동 해석

김기원* · 김재욱** · 김종렬** · 백현만*** · 김성균*

Newtonian and Non-Newtonian Blood Flow in Arteries of Upper Extremity

Keewon Kim*, Jaeuk Kim**, Jong Yeul Kim**, Hyun Man Baek**, Sung Kyun Kim*

Abstract : Since a digital arterial disease in upper extremity is uncommon happened compare to arterial disease in lower extremity, experimental and numerical investigations had been rare performed. We created a three dimensional model of arteries in a Korean adult's left hand (from bracheal to digital arteries), larger than about 1 mm, from 3T magnetic resonance imaging(MRI) data. A Three-dimensional computational fluid dynamic method was employed to investigate blood flow velocity, blood pressure variation and wall shear stress (WSS) on this complicated artery system, for the first time. Investigated were the physiological blood flows near branches of a radial and a deep-palmar-arch arteries, ulnar superficial-palmar-arch arteries. Flow is assumed to be laminar and flow model is assumed to be either Newtonean and Casson model with a density of plasma.

1. 서 론

CT나 MRI 데이터로부터 팔 동맥들의 해부학적으로 정확한 3차원 팔 동맥 모델의 제작하여, 수치해석을 수행한 경우는 매우 드문 경우이다. 한의학에서 맥진은 혈압(진폭)과 심박동수(진동수)뿐만 아니라 파형분석(Waveform Analysis)을 포함한 진단법이지만 과학적인 근거를 제시하지 못하고 있다. 맥진이 행해지는 왼팔의 손목 부분을 포함한 왼팔을 MRA로 촬영하여 획득한 의료영상 데이터로부터 3차원 수치해석 모델을 제작하여 혈유동의 흐름을 수치해석적으로 분석하여 어떠한 요소들이 맥진과 연관관계를 연구하고자 한다. 정상유동과 주기유동해석을 수행하여 속도장과 압력장을 획득하여, 상완동맥에서 나간 혈류가 어떻게 전파되는지와 각 분지점에서 시간변화에 따른 유량/혈압 변화를 살펴보았다. 뉴턴모델과 비뉴턴 Casson 모델을 이용하여 수치해석을 수행하여 두 결과를 비교하였다.

* 건국대학교 기계공학과
** 한국한의학연구원
*** 한국기초과학지원연구원, 오창

2. 본 론

2.1. MRA 동맥혈관 모델링

한국기초과학지원연구원(KBSI, 오창)이 보유한 3T Human MRI(Philips, Nederland)를 이용하여 20대 건강한 한국성인 남성의 왼팔 혈관을 손목-손, 상완 등 2차에 걸쳐 촬영하여 얻은 데이터로부터, Fig.1과 같이 상완동맥에서 손가락에 이르는 동맥혈관 시스템의 3차원 모델을 제작하였다. 의료영상이미지를 처리를 위해 Mimics ver. 16.0 (Materialise, Belgium)와 CAD 소프트웨어 Rapidform을 사용하였다.

2.2. 전산수치해석

제작된 3차원 혈관 모델을 가지고 상용코드인 FLUENT v.16(ANSYS Inc., USA)를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 층류로 해석하였으며, 혈관 벽의 유연성은 고려하지 않았다.

2.2.1. 지배방정식과 경계조건

$$\nabla \cdot U = 0 \tag{1}$$

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho (U \cdot \nabla) U = -\nabla p + \mu \nabla^2 U \tag{2}$$

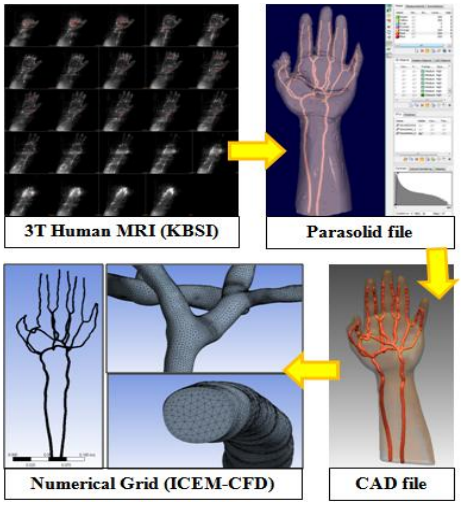

Fig 1. Work flow of reconstruction artery from MRA images and make numerical grid.

주기유동의 해석에 있어서 입구의 압력 값을 Tomometry로 측정된[1] 값을 사용하였다. 그리고 출구에서는 모세혈관에서의 압력 값[2]을 사용하였다. 혈관 벽의 유연성은 고려하지 않았다. 혈장의 물성치 (밀도 1060kg/m^3)를 사용하였다.

2.3. 결과

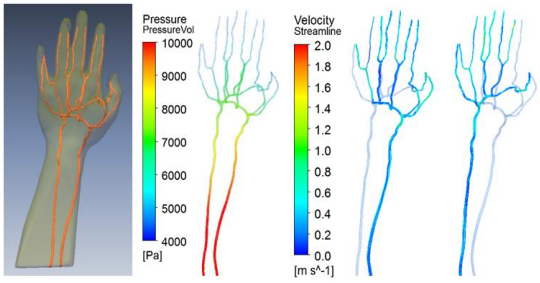

Fig 1. Pressure gradient and streamlines from radial artery and ulnar artery

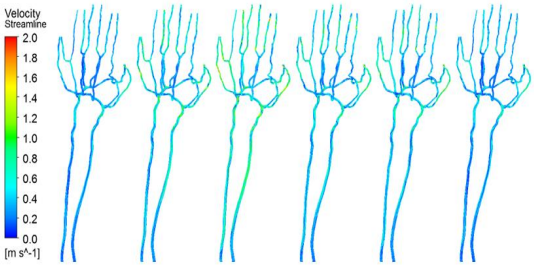

Fig 2. Streamlines during a period(1sec) time interval 0.2sec

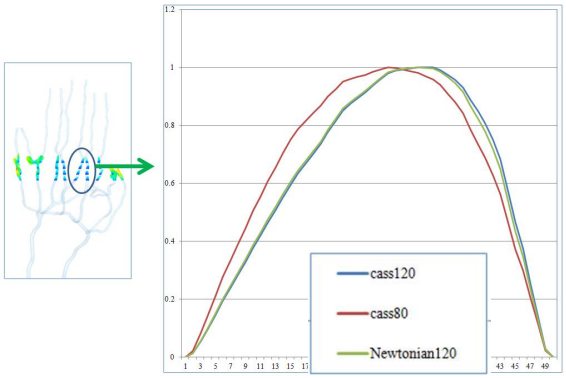

Fig 4. Velocity profile at finger: Newtonian and Casson models

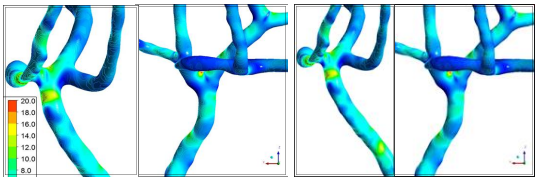

Fig 5. Wall shear stress in radial and ulnar arteries: Newtonian(left) and Casson(right) models

3. 결 론

정상유동해석 결과 요골동맥과 척골동맥에서 나간 혈류량은 손가락들에 다르게 분배되었다. Newtonian모델과 Casson모델 결과는 저속에서만 약간의 차이를 보였다. 주기유동해석에서 동맥혈관 내의 혈압 분포를 구했으나, 혈관 벽의 유연성을 고려하지 않아 상완동맥 혈압변화와 동일한 위상을 나타내었다. 맥진을 위해서는 향후 유체-구조 연성 수치해석이 요구된다.

후 기

본 과제는 한국한의학연구원의 지원을 받아 수행되었음 (Grand No. K14311).

참고 문헌

(1) N. Stergiopulos, et. al., 1998, "Physical basis of pressure transfer from periphery to aorta : a model-based study", The American journal of physiology, Vol.274, pp. H1386~H1392.

(2) Y.C. Fung, 1997, "Biomechanics : Circulation," Springer.