

조영증강 MR 혈관 조영술을 이용한 경동맥 기하학의 평가

이정민 · 류창우 · 김건우

목적 : 조영증강 MR 혈관조영술을 이용하여 경동맥의 기하학(geometry)을 측정하고, 경동맥 기하학과 임상요인 사이의 상관관계를 분석하고자 하였다.

대상 및 방법 : 2007년 1월부터 6월까지 대동맥궁 상부 조영증강 MR 혈관조영술을 시행한 216명을 대상으로 하였다. 동맥경화 위험인자(나이, 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 흡연), 성별, 체중, 신장, 체질량지수를 조사하였다. MR 혈관조영술에서는 경동맥 기시부 유형, 경동맥의 굴곡도, 내경동맥 분지각, 내경동맥 비틀림, 대동맥궁 소-유형(bovine type) 여부를 평가하였다. 경동맥 기시부 유형은 위치에 따라 3단계로 분류하였다. 기하학 요소와 임상정보간의 상관관계를 회귀분석을 이용하여 분석하였다.

결과 : 경동맥 기시부를 종속변수로 한 다항 로지스틱 회귀분석에서 나이가 많을수록 경동맥 기시부 1형의 빈도가 높았고, 체질량지수가 클수록 2형, 3형일 빈도가 높았다. 좌, 우측 경동맥의 굴곡도의 평균은 각각 $240.9 \pm 69.0^\circ$ 과 $154.4 \pm 55.0^\circ$ 였다. 다변량 회귀분석에서 고혈압 환자 와 여자, 나이, 체질량지수가 클수록 경동맥의 굴곡도가 증가하였다. 내경동맥 분지각, 내경동맥 비틀림, 대동맥궁 소-유형은 통계분석에서 임상정보와 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

결론 : 경동맥 기하학에 나이, 체질량지수, 성, 고혈압 여부가 영향을 미칠 수 있다. 이러한 정보는 대동맥궁 및 경동맥의 영상정보가 없는 경우, 경동맥 기하학 예측 및 침습적 혈관내 시술 전략 수립에 도움이 될 것이다.

서 론

경동맥 스텐트 삽입등과 같은 신경혈관 중재시술 시 기술적 성공과 합병증의 유무는 경동맥의 기하학(geometry), 즉 혈관의 굴곡, 기시부의 위치, 해부학적 변이 등에 영향을 받는다(1). 최근 연구들은 고령의 환자에서 경동맥 스텐트를 시행한 경우에 더 높은 합병증의 빈도를 보고하고 있는데(2, 3) 이에 경동맥의 굴곡 정도가 기술적인 실패를 야기하는 중요한 요인 중 하나로 알려져 있다. 신경혈관 중재시술에 있어 유도 카테터로 치료 대상에 도달하기 위해서는 대동맥궁과 경동맥을 경유하여야 하며

(4) 따라서 경동맥의 기하학은 동맥협착의 중재적 치료의 위험도에 영향을 미친다(5). 또한 혈관의 굴곡은 혈류역학에 영향을 주어 동맥경화의 진행에 영향을 줄 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러므로 혈관 기하학의 특성을 밝히는 것은 동맥협착치료의 위험인자 예측과 치료결정 과정에 있어 중요하다(1).

경동맥의 기하학을 평가하고 측정하는데 많은 방법이 사용되어 왔다. 기존에 카테터 혈관조영술과 초음파 등으로 경동맥의 기하학 분석과 위험요소를 분석한 여러 연구가 있지만(1, 4, 6-11), 카테터 대동맥조영술은 투시를 통한 이차원적 혈관조영술이기 때문에 투시각도에 따라 혈관의 꺾임 각도가 왜곡 될 수 있는 문제가 있으며 환자의 동맥 내 조영제 주입과 방사능의 노

대한자기공명의과학회지 14:47-55(2010)

¹경희대학교 동서신의학병원 영상의학과

이 연구는 2007년 경희대학교 교비 연구지원에 의한 결과임(KHU-20071632).

접 수 : 2010년 5월 24일, 수 정 : 2010년 5월 28일, 채 택 : 2010년 6월 1일

통신저자 : 류창우, (134-727) 서울시 강동구 상일동 149번지, 경희대학교 동서신의학병원 영상의학과

Tel. (02) 440-6933 Fax. (02) 440-6932 E-mail: md.cwryu@gmail.com

출이라는 단점이 있다. 초음파 역시 작은 영상영역으로 인하여 경동맥과 목표물의 전장의 구연이 불충분하다. 이런 두 가지 검사들과 달리 조영증강 MR 혈관조영술은 대동맥궁 상방의 혈관의 형상의 분석에 도움을 줄 수 있는 공간적 해상도가 우수한 비침습적 3차원 영상으로 경동맥 질환의 진단에 유용하게 사용되고 있다(12, 13). 저자들은 조영증강 MR 혈관조영술이 혈관 질환의 진단 뿐만 아니라 혈관의 기하학적 분석에 유용할 것으로 생각하였고 경동맥의 기하학의 분석에 대한 기존 연구들의 영상분석방법의 제한점을 극복할 수 있을 것으로 보았다.

현재까지 조영증강 MR 혈관조영술을 이용하여 경동맥 기하학을 평가한 논문은 아직 보고되지 않았으며 따라서 본 논문은 조영증강 MR 혈관조영술을 이용하여 기시부 위치, 굴곡도, 분지각과 같은 경동맥의 기하학적 요소를 분석하고, 경동맥의 기하학과 임상요인 사이의 관계를 분석하는데 목적을 두었다.

대상과 방법

대상

2007년 1월부터 2007년 6월까지 대동맥관 상부의 조영증강 MR 혈관조영술을 시행한 233명의 환자를 대상으로 하였으며 이들 환자의 대부분은 허혈성 뇌경색으로 추정되는 신경학적 증상을 보였거나, 경동맥 잡음의 평가 혹은 건강검진을 위해 이를 시행한 환자들이었다. 총 233명의 환자 중 118명이 여자, 115명이 남자였으며 이들 나이의 평균은 64.8(27-91)세 이었으며 이들 중 당뇨병환자는 79명, 고혈압환자는 152명이었다. 저자들은 일반적인 동맥경화의 위험인자(나이, 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 흡연), 성별, 체중, 신장, 체질량지수를 포함한 다양한 정보 수집을 위해 환자의 기록을 조사하였다. 체질량지수는 체중/신장²(kg/m²)으로 계산하였다. 이는 후향적으로 조사되었으며 병원내 윤리위원회의 심의를 통과하였다.

MR 혈관 조영술

조영증강 MR 혈관조영술은 대동맥 궁부터 뇌동맥까지 포함하도록 시행되었으며 총 7.5 mL의 gadobutrol 조영제 (Gadovist® 1.0, Schering AG, Berlin, Germany)를 2 ml/sec의 속도로 팔의 전주정맥을 통하여 주입하고 이어서 생리식염수 20 mL를 2 mL/sec의 속도로 일률적인 속도로 일시에 조영제의 전량이 주입되도록 하였다. 이후 조영제가 추적위치인 경동맥에 도착하는 것을 실시간으로 횡단면 2차원 영상으로 확인한 후 영상획득을 시행하였다(14). 이는 1.5T MR기기 (Achieva, Philips medical system, Netherlands)를 이용하였으며 영상 지표 TR/TE=4.90/1.69; 40° 숙입각; 35 cm 영상영역; 512×512 matrix수; 1 mm 절편두께로 관상동면으로 영상을 얻었으며 영상획득 시간은 1분 36초였다. 얻어진 혈관 조영영상은 최대강도 투사영상기법을 이용해 재구성하였는데 수직 축을 기준으로 10°마다 영상을 회전하여 18장의 최대강도 투사영상 한 세트를 얻었다.

영상 분석

신경영상의학 전문의가 연구 대상의 조영증강 MR 혈관조영술의 영상을 분석하였다. 모든 영상은 팩스(PACS) 시스템에서 분석하였고 연구자는 적정 창 너비와 수준을 선택할 수 있었다. 연구자는 환자의 임상정보와 다른 검사결과를 알지 못하는 맹검 방식으로 분석을 시행하였다. 조영증강 MR 혈관조영 영상에서는 경동맥의 기시부 유형, 경동맥의 굴곡도, 내경동맥의 분지각, 내경동맥의 비틀림(kinking) 여부, 우측 무명동맥(innominate artery)과 좌측 총경동맥이 공통기시하는 소-유형(bovine type) 대동맥궁 여부의 변수를 평가하였다.

경동맥의 기시부 유형은 대동맥궁의 연장(elongation) 정도에 따른 경동맥의 기시 부위와 대동맥궁과의 위치관계의 차이를 의미하는 것으로써, 기존 연구를 참고하여 경동맥의 기시 위치에 따라서 3단계로 분류하였다(4). 대동맥궁의 상방 변연에서 하방 변연까지의 거리의 반을 나눈 후 상부의 1/2에서 무명동맥 혹은 총경동맥이 기시하는 경우 이를 1형, 하부 1/2에서 기시하는 경우를 2형, 하부변연의 이하에서 기시할 경우를 3형으로 구분하였다. 1형이 가장 대동맥궁의 연장 정도가 심하고 2,3형 순서로 대동맥궁의 연장 정도가 적은 형태로 간주하였다 (Fig. 1). 총경동맥의 굴곡도는 다음과 같이 구하였다. 우측에서 대동맥궁과 무명동맥의 기시부의 장축이 만나 이루는 각의



Fig. 1. Classification of the carotid origin
Type 1 carotid origin defined as the origin of innominate artery or left common carotid artery at upper 1/2 of the aortic arch; type 2 at their origin of lower 1/2 of the aortic arch; type 3 below the lower margin of the aortic arch

보각을, 좌측에서는 대동맥궁과 총경동맥의 기시부의 장축이 만나 이루는 각의 보각을 측정하고, 각각의 총경동맥이 주된 각형성을 보이는 두 곳에서 근위부와 원위부 사이의 각의 보각을 각각 측정하여 세 값을 합산하였다. 이렇게 계산한 값은 경동맥의 굴곡 정도를 의미하였다(Fig. 2). 계산한 값이 클수록 혈관의 굴곡 정도가 심함을 의미하였다. 내경동맥의 분지각은 총경동맥과 내경동맥의 장축이 서로 이루는 각을 측정하였다. 이러한 각도의 측정은 모두 최대강도 투사영상기법으로 재건한 18장의 영상세트에서 각각의 각도마다 가장 넓은 각도를 보이는 영상(tangential view에 가장 가까운 영상)을 선택하여 측정하였

다. 경동맥의 기시부 유형이 3형에서 1형으로 갈수록, 총경동맥의 굴곡도가 클수록, 내경동맥의 분지각이 클수록, 내경동맥의 비틀림과 대동맥궁의 소-유형은 Faggioli 등에 따라 경동맥 혈관내 중재시술에 고위험인자를 가진 기하학적 형태로 판단하였다(15).

통계학적 분석

각각의 기하변수(종속변수)인 경동맥의 기시부 유형, 경동맥의 굴곡도, 내경동맥 분지각, 내경동맥의 비틀림 여부, 소-유형 대동맥 궁의 여부와 임상요인(독립변수)인 나이, 성별, 동맥경

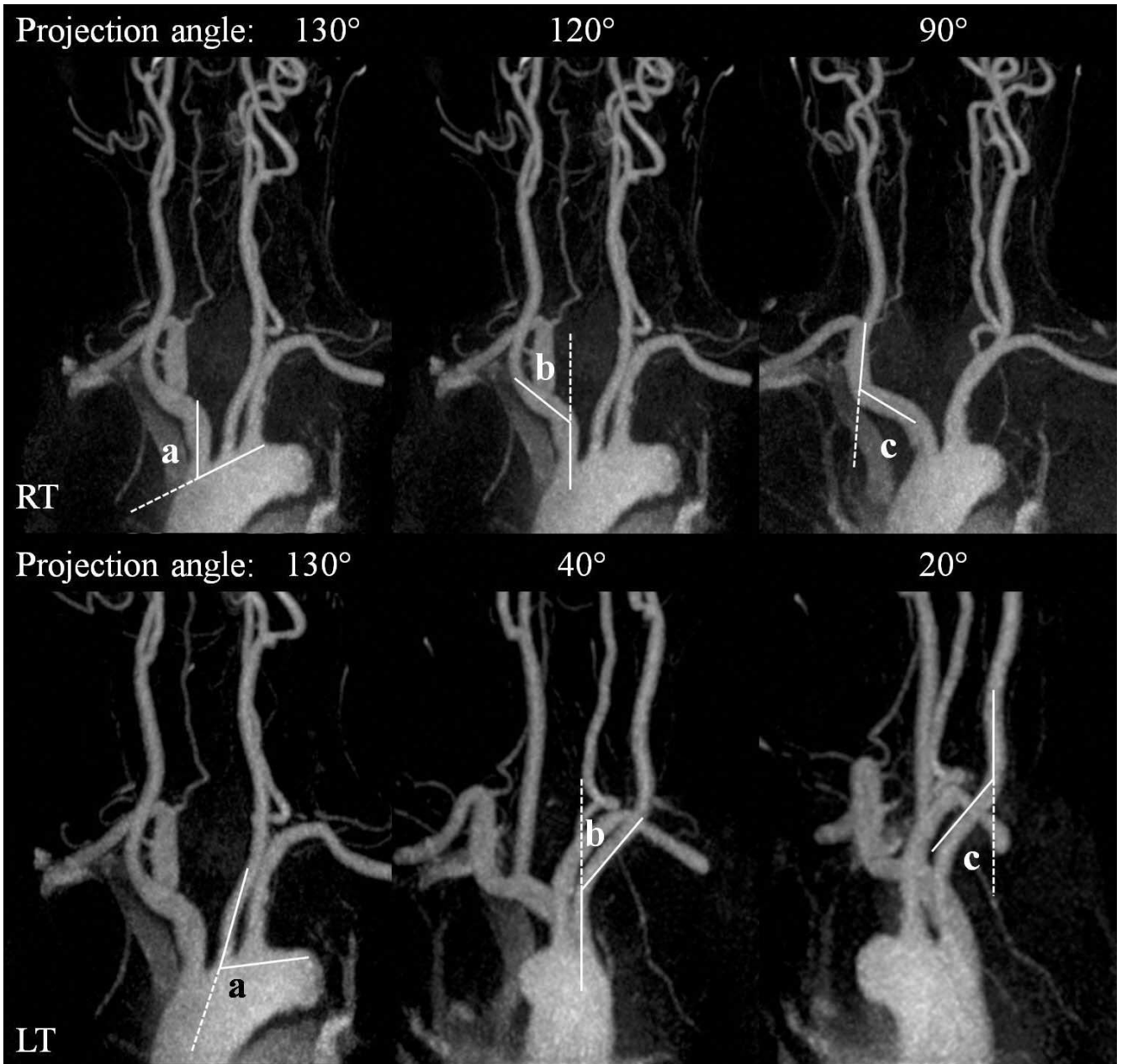


Fig. 2. Measurement of the carotid tortuosity
Method of carotid tortuosity (T) measurement: $a + b + c = \text{carotid tortuosity}$

이정민 외

화 위험요인(고혈압, 당뇨, 체질량지수, 고지혈증, 흡연)의 관계를 상관분석과 다변량 회귀모형을 이용하여 분석하였다. 경동맥의 굴곡도와 내경동맥 분지각의 평가 시 경동맥의 기시부 유형도 독립변수로 추가하여 분석하였다. p값이 0.05 미만을 통계학적으로 유의한 차이가 있다고 판정하였다.

결 과

233명의 대상군 중 영상의 질이 좋지 않아 평가가 어려운 17명의 환자는 제외하고 216명의 영상을 분석하였다. 17명 중 12명은 정맥오염으로 인해, 5명은 운동인공물에 의해 제외되었다.

우경동맥 기시부의 유형별 평균나이는 1형에서 70.5 ± 11.4 세, 2형에서 62.9 ± 12.5 세 3형에서는 57.6 ± 13.2 세, 좌경동맥의 기시부는 1형에서 71.4 ± 11.5 세, 2형에서 64.4 ± 12.5 세 3형에서는 60.0 ± 13.0 세로 좌우 경동맥 모두에서 1형에서의 나이가 가장 많았으며 2형과 3형으로 갈수록 점차 감소되었다. 체질량지수는 우경동맥에서 1형의 평균이 $23.2 \pm 3.2 \text{ kg/m}^2$, 2형에서 $24.7 \pm 3.4 \text{ kg/m}^2$, 3형에서는 $25.8 \pm 3.7 \text{ kg/m}^2$, 좌경동맥에서 1형의 평균이 $22.6 \pm 3.4 \text{ kg/m}^2$, 2형에서 $24.7 \pm 2.7 \text{ kg/m}^2$, 3형에서 $25.2 \pm 4 \text{ kg/m}^2$ 로 1형에서 3형으로 갈수록 체질량지수가 증가하였다(Table 1).

경동맥의 기시부 유형을 평가한 결과, 우측에서 1형은 92명, 2형은 70명, 3형은 54명이었으며 좌측에서 1형은 57명, 2형은 79명, 3형은 80명이었다. 다항 로지스틱 회귀 분석결과에서 경동맥의 기시부는 나이가 증가할수록 1형으로 가는 양상을 보이고, 체질량지수가 증가할수록 3형으로 가는 경향을 보였다. 이는 우경동맥에서 나이가 1증가시 기시부의 유형이 1형이 2형이 될 확률은 0.9배($p=0.004$), 1형이 3형이 될 확률은 0.9배였으며($p < 0.001$) 체질량 지수가 1증가시 2형이 될 확률이 1.1배($p=0.067$), 3형이 될 확률은 1.2배로 증가되었다($p=0.001$). 이는 좌경동맥에서 나이가 1증가시 기시부 유형이 2형이 될 확률이 0.9배($p=0.031$), 3형이 될 확률은 0.9배로 나타났고($p=0.009$) 체질량지수가 1증가시 2형이 될 확률이 1.1배($p=0.009$), 3형이 될 확률은 1.2배($p=0.003$)였다(Table 2).

조영증강 MR 혈관조영술에서 측정한 우측 경동맥의 굴곡도

의 평균은 $240.9 \pm 69.0^\circ$ 였고 좌측 경동맥의 굴곡도의 평균은 $154.4 \pm 55.0^\circ$ 였다. 임상정보 및 경동맥의 기시부 유형을 독립변수로 포함시킨 경동맥의 굴곡도의 다변량 회귀분석에서 나이, 체질량지수, 성, 고혈압 유무가 유의한 변수로 검증되었으며 이는 좌, 우경동맥에서 나이, 체질량지수, 고혈압과 양의 상관관계를 보였다. 우경동맥에서 경동맥의 굴곡도는 남자($226.0 \pm 60.0^\circ$), 여자($254.7 \pm 74.1^\circ$)로 측정되었으며 좌경동맥에서는 남자($142.9 \pm 44.1^\circ$), 여자($165.6 \pm 61.9^\circ$)로 측정되었다. 우경동맥에서 고혈압이 있는 경우 경동맥의 굴곡도 값은 $270.8 \pm 95.9^\circ$, 고혈압이 없는 경우 $219.2 \pm 62.7^\circ$, 좌경동맥에서 고혈압이 있는 경우 $161.8 \pm 59.7^\circ$, 고혈압이 없는 경우는 $140.0 \pm 41.8^\circ$ 로 측정되었다. t-test를 통하여 검증하였을 때 우경동맥에서 고혈압이 있는 경우와 여자에서 굴곡도는 큰 값을 보였는데, 고혈압이 있는 환자에서 32.9° 큰 값을 보이고($p=0.005$) 여자에서 28.7° 큰 값을 보였다($p=0.001$). 좌경동맥에서는 여자에서 22.6° 큰 값($p=0.003$), 고혈압이 있으면 21.8° 큰 값을 보였다($p < 0.007$) (Table 3). 또한 나이가 1증가할수록 우경동맥의 굴곡도가 1.8° 증가($p < 0.001$), 체질량지수가 1증가시 4.7° 증가($p=0.001$)하였다. 이는 좌경동맥에서도 같은 결과로, 나이가 1증가할수록 굴곡도가 1.4° 증가($p < 0.001$), 체질량지수가 1증가시 2.0° 증가($p=0.011$) 하였다.

우측 내경동맥의 분지각은 평균 $24.7 \pm 11.8^\circ$ 이었고 좌측 내경동맥의 분지각은 평균 $35.3 \pm 14.8^\circ$ 이었다. 내경동맥의 비틀림은 모두 37예(우측: 20예, (9.2%) 좌측: 17예(7.8%))에서 관찰되었고 대동맥궁의 소-유형은 23예(10.6%)에서 있었다. 이 기하변수들은 통계분석에서 독립 변수들에 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

간략히 하였을 때 경동맥의 기시부 1형, 높은 경동맥의 굴곡도와 같은 경동맥의 고위험성 기하학적 이상에 영향을 미치는 변수는 고령의 나이, 높은 체질량지수, 여성, 고혈압 등이었다. 내경동맥의 비틀림 여부, 높은 내경동맥의 분지각, 대동맥궁의 소-유형의 유무와 같은 고위험성 기하학적 이상은 독립 변수들에 유의한 영향을 받지 않았다.

고 찰

뇌혈관과 경동맥을 평가하는데 있어 카테터 혈관조영술은 침습적인 시술로 합병증을 동반할 수 있고 약 1%의 신경학적 장애를 동반한다고 알려져 있다(16). 따라서 비침습적인 진단 방법이 필요로 하며 이러한 목적으로 MR 혈관조영술이 적합하게 사용되고 있다. MR 혈관조영술 중 조영제 주입 없이 적절한 공간해상도를 갖춘 이미지는 3차원 유체속도강조 MR 혈관조영술을 꼽을 수 있으나 영상습득 시간이 길기 때문에 영상획득을 할 수 있는 범위가 제한되어 있어 두경부에서는 단지 두개골외 경동맥 분지의 평가에만 사용이 가능하다(17). 조영증강 MR 혈관조영술은 대동맥궁에서 두개골내 혈관까지 전혈관 공급부위를 적절한 획득 시간과 적절한 공간해상도로 가시화할 수 있

Table 1. Mean Age and BMI with Standard Deviation According to the Carotid Origin Type

	Type1	Type 2	Type 3
Right			
age	70.5 ± 11.4	62.9 ± 12.5	57.6 ± 13.2
BMI	23.2 ± 3.2	24.7 ± 3.4	25.8 ± 3.7
Left			
age	71.4 ± 11.5	64.4 ± 12.5	60.0 ± 13.0
BMI	22.6 ± 3.4	24.7 ± 2.7	25.2 ± 4.0

age (year); BMI, body mass index (kg/m²)

다(18). 따라서 조영증강 MR 혈관조영술은 두경부의 혈관을 비롯하여 대동맥분지에 이르는 넓은 범위의 혈관질환의 진단 및 해부학의 평가에 유용하다. 또한 조영증강 MR 혈관조영술은 짧은 TR로 배경 포화(background saturation)를 시키고, T1 이완이 일어나기 전에 빠른 TE 시간을 적용하여 신호를 획득함으로써 우수한 대조도의 영상을 얻을 수 있다(12, 13). 이러한 이유로 조영증강 MR 혈관조영술은 뇌혈관 질환의 진단에 있어 유용한 역할을 한다. 이는 혈관 중재시술을 필요로 하는 해당자의 선별뿐 아니라 중재시술 전 혈관 해부학 평가에 도움을 주어 카테터 대동맥 조영술의 필요를 대신할 수 있다(19). 또한 두경부의 혈관과 대동맥궁의 해부학을 가시화함으로써 중재시술의 시행이 필요한 환자에서의 기술적 어려움의 정도를 술

전에 미리 평가할 수 있다. 이러한 사전 평가가 적절한 시술 도구를 선택하고 시술 전략을 세우게 함으로써 시술 비용의 절감과 시술 시간 감축을 통한 방사선 피폭의 감소, 불필요한 혈관 검사를 피할 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 저자들은 조영증강 MR 혈관조영술이 경동맥의 기하학적 분석을 여러 부위에서 정확하게 정량적으로 평가하는데 큰 도움이 될 것으로 예상하였기 때문에 연구 설계시 분석방법으로 조영증강 MR 혈관조영술을 선택하게 되었으며 예상대로 연구과정에서 효율적으로 혈관의 굴곡 정도를 평가할 수 있었다.

본 연구에서 경동맥의 고위험성 기하학적 이상으로 간주한 심한 경동맥의 굴곡은 고령의 나이, 높은 체질량지수, 여성, 고혈압 등과 연관이 있었다. 경동맥 기하학의 이상은 Weibel과

Table 2-1. Multinomial Logistic Regression of Right Carotid Origin with Age, Sex, BMI, DM and HTN

Right Carotid Origin		p-value	Odd Ratios	95% Confidence Interval	
Type	Variance				
Type 2	Age*	.004	.957	.928	.986
	Sex	.404	1.350	.667	2.733
	BMI	.067	1.105	.993	1.231
	DM	.326	1.439	.697	2.972
	HTN	.330	.683	.317	1.472
Type 3	Age*	.000	.936	.904	.970
	Sex	.084	2.066	.906	4.712
	BMI*	.001	1.229	1.086	1.392
	DM	.491	1.355	.571	3.215
	HTN	.262	.605	.251	1.457

BMI, body mass index; DM, diabetes mellitus; HTN, hypertension

Carotid Origin Type 1 is the reference group.

* means statistically significant with the p-value less than 0.05. Right carotid origin had positive correlation with the BMI and negative correlation with the age.

Table 2-2. Multinomial Logistic Regression of Right Carotid Origin with Age, Sex, BMI, DM and HTN

Left Carotid Origin		p-value	Odd Ratios	95% Confidence Interval	
Type	Variance				
Type 2	Age*	.031	.964	.933	.997
	Sex	.495	1.307	.605	2.824
	BMI*	.009	1.172	1.040	1.321
	DM	.902	.951	.432	2.095
	HTN	.629	.814	.353	1.878
Type 3	Age*	.002	.948	.916	.981
	Sex	.227	1.633	.737	3.620
	BMI*	.003	1.209	1.068	1.369
	DM	.986	1.007	.443	2.293
	HTN	.328	.652	.277	1.537

BMI, body mass index; DM, diabetes mellitus; HTN, hypertension

Carotid Origin Type 1 is the reference group.

* means statistically significant with the p-value less than 0.05. Left carotid origin had positive correlation with the BMI and negative correlation with the age.

Table 3-1. Multivariate Regression of the Right Carotid Tortuosity

	B	Standard Error	t-Value	p-Value
Age*	1.799	.390	4.609	.000
Sex*	-20.236	9.329	-2.169	.031
BMI*	4.710	1.355	3.476	.001
DM	4.347	9.658	.450	.653
HTN*	19.431	9.922	1.958	.05
Hyperlipidemia	-3.973	10.422	-.381	.703
Smoking	-11.696	11.946	-.979	.329
RCCAO				
RCCAO (1)	13.001	12.225	1.064	.289
RCCAO (2)	7.645	12.444	.614	.540

$R^2 = 0.249$, $F = 14.494$

BMI, body mass index; DM, diabetes mellitus; HTN, hypertension; RCCAO, right common carotid origin; B: regression coefficient

* means statistically significant with the p-value less than 0.05

Table 3-2. Multivariate Regression of the Left Carotid Tortuosity

	B	Standard Error	t-Value	p-Value
Age*	1.373	.322	4.268	.000
Sex*	-16.283	7.773	-2.095	.0038
BMI*	2.013	1.133	1.777	.011
DM	5.090	8.050	.632	.528
HTN*	15.777	8.286	1.904	.047
Hyperlipidemia	-7.599	8.705	-.873	.384
Smoking	-4.140	9.964	-.415	.678
LCCAO				
LCCAO(1)	3.758	8.788	.428	.669
LCCAO(2)	9.084	10.172	.893	.373

$R^2 = 0.205$, $F = 5.495$

BMI, body mass index; DM, diabetes mellitus; HTN, hypertension; LCCAO: left common carotid origin; B: regression coefficient

* means statistically significant with the p-value less than 0.05

Fields에 의하여 굴곡, 기시부 유형, 비틀림으로 분류된다(20). 이러한 이상소견은 아이나 청소년에서는 거의 보이지 않으나, 보이는 경우 유전적 요인에 의한 것으로 생각할 수 있다. 대부분의 경동맥의 주행 및 기하학의 이상은 고령자에서 발견되는데 이는 나이가 증가함에 따라 혈관의 탄력도가 감소하여 길이가 길어지고 굴곡이 생기게 되기 때문으로 설명하고 있다(6). 특히 대동맥이나 경동맥과 같은 중심 탄성혈관에서 연령에 따른 구조적 변화가 더 흔하게 오며 이들에 대한 명확한 원인이 밝혀지지는 않았으나, 혈관의 탄력을 담당하는 탄력소와 교원질의 역할이 중요하게 생각되고 있다. 혈관의 부담을 담당하는 혈관벽의 주요성분인 탄력소와 교원질은 혈관의 충격 흡수와 하중의 담당에 중요한 역할을 한다. 나이가 들어감에 따라 이들이 현저히 감소, 분열하며 정상적인 배열이 소실되게 되고 이로 인해 혈관의 탄력이 감소하여 굴곡이 증가하게 된다(21-23). 이러한 혈관의 변화는 근위대동맥에서 더욱 심하게 관찰되는데 이는 심장의 박동에 직접적인 영향을 받아 더 큰 물리적

피로를 받게 되기 때문으로 설명하고 있다(22, 24). 경동맥의 기하학의 이상을 초래하는 다른 원인으로는 동맥경화의 진행에 영향을 주는 혈관의 위험인자들이다(9). 이번 연구 결과에서 경동맥 굴곡도와 상관 있었던 변수인 나이, 고혈압, 체질량지수는 동맥경화의 중요 위험인자에 해당되며 경동맥의 기하학 이상에 복합적 요인으로 작용하였을 것으로 보인다. 본 연구에서, 여성인 경우 경동맥 굴곡도가 상대적으로 높았는데 이는 성에 따른 혈관 탄력도의 차이가 있거나 골다공증으로 인한 척추의 높이가 감소됨으로 인한 영향이 있을 수 있을 것으로 의심할 수 있다. 또한 경동맥에 있어 월경주기에 따라 혈관의 순응 정도에 변화가 있다는 보고가 있었다(25). 경동맥 주행과 기하학의 이상은 단지 혈관중재시술의 위험도와 관련 있을 뿐만 아니라, 뇌혈관 질환의 위험의 증가시킬 가능성이 있다. 이는 국소적 혈류의 변화에 의한 혈관내피 병변에 의한 혈전색전론과 더 중요한 기전인 혈역학적 기전으로 설명할 수 있다. 동맥이 영구적 혹은 일시적으로 더 큰 각도의 이상을 보일 때, 혈역학적 기전에 의한

전단응력(shear stress)이 혈관내피에 손상을 줄 수 있으며 이는 혈관질환의 위험을 증가시킬 수 있다.

경동맥의 고위험성 기하학적 이상 중 하나인 경동맥의 기시부 유형은 나이와 유의한 상관관계를 보였다. 경동맥의 기시부 유형은 곧 대동맥궁의 연장 정도를 의미하는데, 나이와 기시부 유형의 상관관계는 연령의 증가로 인한 대동맥궁의 혈관벽 탄력도가 감소하여 연장과 굴곡이 심해지고 이에 따라 경동맥의 위치가 변화한 것으로 설명할 수 있다. 또 다른 가능성으로는 나이가 증가하면서 골다공증 증가로 척추의 높이가 낮아져서 신장이 감소함에 따라 대동맥궁이 상대적으로 연장이 심해졌을 가능성이 있다.

이번 연구에서 주목할 점은 체질량이 경동맥의 굴곡도와 기시부 유형과 같은 경동맥 기하학 요소와 상관관계를 보였던 것이다. 체질량과 혈관굴곡간의 상관관계에 대한 몇 가지 문헌들을 고찰해보면, 동맥경화의 위험인자인 체중, 체질량지수가 이미 천대동맥에 있어서 혈관의 굴곡과 유의한 상관관계를 보인다는 보고가 있었다(26). 또한 체질량지수가 흉부대동맥의 굴곡과 연관이 있다는 연구가 있었으며 이의 원인은 분명히 밝혀지지 않았으나 체질량지수가 큰 경우 복부지방의 증가로 인한 횡격막의 상승으로 인한 높이의 감소와 비만에 의한 대사증후군과 연관된 동맥경화성 경향의 증가의 두 가지 원인으로 설명하고 있었다(21). 본 연구에서는 체질량지수가 증가할수록 경동맥의 굴곡도가 증가하였다. 이는 체질량지수가 동맥경화 위험인자이기 때문일 가능성이 있다. 또 다른 가능성으로는 체질량지수가 높은 사람의 경우 경부의 연부조직이 커짐에 따라 혈관이 꺾일 수 있는 공간이 더 많이 확보되어 경동맥의 굴곡이 심해질 수 있음을 생각할 수 있다. 흥미로운 현상은 경동맥의 기시부 유형이 1형인 경우에 비하여 2, 3형의 체질량지수가 더 높은 것으로 나온 결과인데, 이는 체질량지수의 증가로 인해 중격동의 공간이 넓어져 대동맥궁이 더 완전한 곡선을 가지게 됨으로써 경동맥의 기시부 유형에 영향을 미쳤을 것으로 추정할 수 있다. 과거 Madhwal 등이 경동맥의 기시부와 체질량지수가 관계 없다고 보고한 바가 있었으나 이는 24명의 환자만을 대상으로 하였다는 제한이 있었다(7).

이전 경동맥의 기하학에 관한 연구들이 나이, 고혈압, 동맥경화의 유무 정도의 제한된 독립변수로 연구하였던 것에 비하여(9) 본 연구에서는 기존에 연구된 변수 외에도 더 다양한 독립변수를 이용하여 경동맥의 기하학적 이상과의 관계를 검증하였다. 또한 기존 연구들의 영상검사방법은 주로 카테터 혈관조영술이나 초음파 검사였는데(1, 4, 6-11) 이러한 영상검사법은 시술자나 영상획득의 각도에 따라 혈관의 굴곡이 왜곡될 수 있는 경향이 있다. 이에 반해 본 연구는 MR 혈관조영 영상을 삼차원적으로 재구성한 영상을 이용하여 혈관의 기시부, 굴곡도, 분지각 등의 기하학적 요소를 측정함으로써 기존 연구의 단점을 극복하였다고 평가할 수 있다.

경동맥의 기하학의 이상은 카테터 혈관조영술이나 신경중재 시술시 기술적인 문제를 야기할 수 있으며 이러한 기술적 어려

움은 적절한 카테터 종류의 선택으로 도움을 받을 수 있다. 경동맥 기하학의 심한 이상이 있는 경우 신경중재술의 시행보다 수술이 권유된다(4, 8). 조영증강 MR 혈관조영술은 경동맥과 대동맥 기시부의 해부학을 평가하는 비침습적인 기법으로 이를 토대로 경동맥 기하학을 평가하고 카테터 혈관조영술이나 신경중재 시술 전에 혈관 추적에 적합한 카테터 종류의 선택을 도울 수 있으며 치료전략을 계획하는데 도움을 줄 수 있다. 그러나, 뇌혈관질환 환자들에서 영상 범위가 제한적인 유체속도강조 MR 혈관조영술이나 초음파 검사만을 하고 침습적인 혈관내 검사나 중재적 치료를 하는 경우가 많다. 이런 경우 시술자는 대동맥궁과 경동맥의 기하학적 이상에 대한 정보가 충분하지 못하여 시술시 예기치 못한 상황에 마주칠 수 있다. 따라서 대동맥궁이나 경동맥의 혈관에 대한 영상의학적 정보가 없더라도, 본 연구의 결과를 토대로 경동맥의 기시부와 굴곡도에 영향을 줄 수 있는 환자의 임상정보를 통해 경동맥의 기하학적 이상을 추정하여 적절한 시술도구의 선택을 할 수 있고 혈관중재시술의 위험을 예측하는데 도움이 될 것으로 보인다.

결론

이 연구에서 조영증강 MR 혈관조영술은 다양한 투사각을 보여줌으로써 혈관의 굴곡 각도를 측정시 각 부위마다 최대각에 가까운 값을 측정할 수 있었다. 이러한 혈관의 기하학 계측에서 조영증강 MR 혈관조영술은 기존 연구에서 혈관기하학 분석에 사용하였던 초음파나 카테터 혈관조영술보다 비침습적이고 측정값의 왜곡이 적을 것으로 생각한다. 조영증강 MR 혈관조영술을 이용한 경동맥의 기하학 평가를 시행한 결과, 경동맥의 기하학에 나이, 체질량지수, 성, 고혈압 등이 경동맥의 기시부 유형과 경동맥의 굴곡도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 영상정보가 부족한 경우, 이러한 임상정보가 카테터 혈관조영술이나 스텐트설치 등의 침습적 혈관내 시술시 환자의 경동맥의 기하학을 예측함으로써 진단 및 치료 전략을 계획하는 데 도움이 될 것으로 보인다.

참고문헌

1. Faggioli G, Ferri M, Gargiulo M, et al. Measurement and impact of proximal and distal tortuosity in carotid stenting procedures. *J Vasc Surg* 2007;46(6):1119-1124
2. Kastrup A, Schulz JB, Raygrotzki S, Groschel K, Ernemann U. Comparison of angioplasty and stenting with cerebral protection versus endarterectomy for treatment of internal carotid artery stenosis in elderly patients. *J Vasc Surg* 2004;40(5):945-951
3. Hobson RW, 2nd. Carotid artery stenting in octogenarians: the jury is still out. *J Endovasc Ther* 2006;13(3):310-311
4. Lam RC, Lin SC, DeRubertis B, Hynecsek R, Kent KC, Faries PL. The impact of increasing age on anatomic factors affecting carotid angioplasty and stenting. *J Vasc Surg* 2007;45(5):875-

5. Friedman MH, Deters OJ, Mark FF, Barger CB, Hutchins GM. Arterial geometry affects hemodynamics. A potential risk factor for atherosclerosis. *Atherosclerosis* 1983;46(2):225-31
6. Corso L, Moruzzo D, Conte B, et al. Tortuosity, Kinking, and coiling of the carotid artery: expression of atherosclerosis or aging? *Angiology* 1998;49(5):361-371
7. Madhwal S, Rajagopal V, Bhatt DL, Bajzer CT, Whitlow P, Kapadia SR. Predictors of difficult carotid stenting as determined by aortic arch angiography. *J Invasive Cardiol* 2008;20(5):200-204
8. Lin SC, Trocciola SM, et al. Analysis of anatomic factors and age in patients undergoing carotid angioplasty and stenting. *Ann Vasc Surg* 2005;19(6):798-804
9. Togay IC, Kim J, Betterman K, et al. Carotid artery tortuosity, kinking, coiling: stroke risk factor, marker, or curiosity? *Acta Neurol Belg* 2005;105(2):68-72
10. Pancera P, Ribul M, Presciuttini B, Lechi A. Prevalence of carotid artery kinking in 590 consecutive subjects evaluated by echocolor Doppler. Is there a correlation with arterial hypertension? *J Intern Med* 2000;248(1):7-12
11. Pancera P, Ribul M, De Marchi S, Arosio E, Lechi A. Prevalence of morphological alterations in cervical vessels: a colour duplex ultrasonographic study in a series of 3300 subjects. *Int Angiol* 1998;17(1):22-27
12. Nederkoorn PJ, Elgersma OE, van der Graaf Y, Eikelboom BC, Kappelle LJ, Mali WP. Carotid artery stenosis: accuracy of contrast-enhanced MR angiography for diagnosis. *Radiology* 2003;228(3):677-682
13. Randoux B, Marro B, Koskas F, Chiras J, Dormont D, Marsault C. Proximal great vessels of aortic arch: comparison of three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography and digital subtraction angiography. *Radiology* 2003;229(3):697-702
14. Ho VB, Foo TK. Optimization of gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography using an automated bolus-detection algorithm (MR SmartPrep). Original investigation. *Invest Radiol* 1998;33(9):515-523
15. Faggioli GL, Ferri M, Freyrie A, et al. Aortic arch anomalies are associated with increased risk of neurological events in carotid stent procedures. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2007;33:436-441
16. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Engl J Med* 1991;15:325(7):445-453
17. Wutke R, Fellner C, Fellner F, et al. 3D TOF turbo MRA of the carotid arteries: a fast alternative for imaging of atherosclerotic carotid disease. *Eur Radiol* 2000;10:126
18. Fellner FA, Fellner C, Wutke R, et al. Fluoroscopically triggered contrast-enhanced 3D MR X-ray angiography and 3D time-of-flight turbo MRA of the carotid arteries: first clinical experiences in correlation with ultrasound, X-ray angiography, and endarterectomy findings. *Magn Reson Imaging* 2000;18(5):575-585
19. Back MR, Rogers GA, Wilson JS, Johnson BL, Shames ML, Bandyk DF. Magnetic resonance angiography minimizes need for arteriography after inadequate carotid duplex ultrasound scanning. *J Vasc Surg* 2003;38(3):422-430
20. Weibel J, Fields WS. Tortuosity, coiling, and kinking of the ICA. Etiology and radiographic anatomy. *Neurology* 1965;15(1):7-11
21. Mochida M, Sakamoto H, Sawada Y, et al. Visceral fat obesity contributes to the tortuosity of the thoracic aorta on chest radiograph in poststroke Japanese patients. *Angiology* 2006;57(1):85-91
22. Kornreich L, Hadar H, Sulkes J, et al. Effect of normal ageing on the sites of aortic bifurcation and inferior vena cava confluence: a CT study. *Surg Radiol Anat* 1998;20(1):63-68
23. Leipzig TJ, Dohrmann GJ, et al. The tortuous or kinked carotid artery: pathogenesis and clinical considerations. A historical review. *Surg Neurol* 1986;25(5):478-486
24. Sugawara J, Hayashi K, Yokoi T, Tanaka H. Age-associated elongation of the ascending aorta in adults. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1(6):739-748
25. Wood NB, Zhao SZ, Zambanini A, et al. Curvature and tortuosity of the superficial femoral artery: a possible risk factor for peripheral arterial disease. *J Appl Physiol* 2006;101(5):1412-1418
26. Hayashi K, Miyachi M, Seno N, et al. Variations in carotid arterial compliance during the menstrual cycle in young woman. *Exp Physiol* 2006;91(2):465-472

Assessment of Carotid Geometry by Using the Contrast-enhanced MR Angiography

Chung Min Lee, Chang Woo Ryu, Keun Woo Kim

¹Department of Radiology, East-West Neo Medical Center, Kyung Hee University, Seoul, Korea

Purpose : To evaluate the geometry of carotid artery by assessing the images of contrast-enhanced MR angiography (CE-MRA) and interrelationships between the geometry of carotid artery and clinical factors.

Materials and Methods : 216 consecutive patients who performed supraaortic CE-MRA with fast spoiled gradient-echo imaging were included. Their medical records were reviewed for variable information including risk factors predictive of generalized atherosclerotic disease (age, hypertension (HTN), diabetes mellitus, hyperlipidemia, and smoking), sex, body weight, height, and body mass index (BMI). We reviewed the CE-MRA with carotid origin (3 types), carotid artery tortuosity, angle of internal carotid artery bifurcation, the type of aortic arch branching, and the presence of the coiling of carotid artery.

Results : Multinomial logistic regression analysis showed that significantly contributed clinical backgrounds for carotid origin were the age and the BMI. With an increase of age at 1, the probability that the type of carotid origin become from type 1 to type 2 was 0.9 times ($p=0.004$) in right carotid artery (RCA), 0.9 times ($p = 0.031$) in left carotid artery (LCA), 0.9 times that are likely to be type3 from type 2 ($p < 0.001$) in RCA and 0.9 times in LCA ($p = 0.009$). Increase in BMI at 1 increased odds of becoming type 2 as 1.1 times ($p = 0.067$) in RCA, 1.1 times ($p=0.009$) in LCA and increased chance of becoming type 3 as 1.2 times ($p = 0.001$) in RCA, 1.2 times ($p=0.003$) in LCA. Mean value of right and left carotid tortuosity were $240.9 \pm 69.0^\circ$ and $154.4 \pm 55.0^\circ$, respectively.

Conclusion : The BMI, age, sex and presence of HTN affects the geometry of carotid arteries, the site of origin and tortuosity of carotid artery specifically.

Index words : Contrast enhanced MR angiography
Carotid geometry
BMI
Age

Address reprint requests to : Chang Woo Ryu, M.D., Department of Radiology, East-West Neo Medical Center, Kyung Hee University, 149 Sangil-dong, Gangdong-gu, Seoul 134-727, Korea.
Tel. 82-2-440-6933 Fax. 82-2-440-6932 E-mail: md.cwryu@gmail.com