

경동맥 협착증 진단을 위한 가상혈관경

(Virtual Angioscopy for Diagnosis of Carotid Artery Stenosis)

김도연[†] 박종원^{**}
(Do Yeon Kim) (Jong Won Park)

요약 본 논문은 경동맥(carotid artery)을 촬영한 MRA(Magnetic Resonance Angiography) 영상을 이용하여 실제 내시경으로 접근이 불가능한 경동맥의 내부를 시각화(visualization)하기 위해 가상혈관경(virtual angioscopy)을 구현하였다. 항해경로 결정을 위해 MRA의 단면 원천영상에서 총경동맥(common carotid artery) 및 내경동맥(internal carotid artery)만을 분리하였고, 중앙축 변환(MAT : Medial Axis Transformation)을 통해 구해진 좌표값을 가상 카메라의 운행 경로로 사용하였다. 원근투영(perspective projection) 및 볼륨 데이터의 표면을 렌더링하기 위해 마칭큐브(marching cube) 알고리즘을 사용하였다. 허혈성으로 인한 뇌혈관질환(cerebrovascular disease)은 뇌졸중(stroke)의 80% 정도를 차지하는데, 경동맥은 뇌에 혈액을 공급하는 주된 혈관으로 경동맥 협착증(carotid artery stenosis)은 뇌졸중의 직접적인 원인이 된다. 가상혈관경은 경동맥 내부의 협착 위치와 협착 정도를 정성적으로 파악 할 수 있으며 협착증의 진단과 교육에 사용될 수 있다.

키워드 : 경동맥 협착증, 시각화, 가상혈관경, 항해항로, 표면렌더링, 마칭큐브, 뇌혈관질환, 뇌졸중

Abstract The virtual angioscopy was implemented using MR angiography image of carotid artery. Inside of the carotid artery is one of the body region not accessible by real optical endoscopy but can be visualized with virtual endoscopy. In order to determine the navigation path, we segmented the common carotid artery and internal carotid artery from the MR angiography image. We used the coordinates as a navigation path for virtual camera that were calculated from medial axis transformation. We used the perspective projection and marching cube algorithm to render the surface from volumetric MRA image data. A stroke occurs when brain cells die because of decreased blood flow to the brain. The carotid artery is the primary blood vessel that supplies the blood flow to the brain. Therefore, the carotid artery stenosis is the primary reason of stroke. The virtual angioscopy is highly recommended as a diagnosis tool with which the specific place of stenosis can be identified and the degree of stenosis can be measured qualitatively. Also, the virtual angioscopy can be used as an education and training tool for endoscopist and radiologist.

Key words : carotid artery stenosis, virtual angioscopy, visualization, navigation path, surface rendering, marching cube, cerebrovascular disease, stroke

1. 서론

1.1 가상내시경(Virtual Endoscopy) 배경

가상내시경은 전산화단층촬영(CT), 자기공명영상(MRI) 장치 등과 같은 의료기기를 이용하여 얻어진 인체의 단면 영상등과 같은 3차원 영상자료들을 컴퓨터로 처리하는 새로운 형태의 진단 방법으로, 표준화된 실제 내시경 검사에 의해 생성되는 것과 동일하거나, 유사한 형태로

환자의 특정 장기에 대한 가상의 시각화를 제공한다[1]. 일반적인 CT 및 MRI 스캐너는 신체의 단면을 영상으로 생성하는데, 방사선과 의사들은 이와 같은 단면영상을 연속적으로 보고, 실제 3차원적으로 신체가 어떻게 구성되어 있는지를 상상하여 병변을 구별한다. 3차원 시각화는 복잡한 알고리즘이나, 고성능의 컴퓨팅 파워를 사용하여 이와 같은 단면영상을 실제 신체와 같이 직접적으로 3차원으로 구성하여 보여준다. 실제와 같은 가상의 내시경을 위해 적절한 특정 신체 영상들은 3차원 MRI 장비나 3차원 나선형 CT 스캐너로부터 얻을 수 있다. 내시경 교육, 훈련, 시연(rehearsal) 및 진단 등과 같은 특정 신체 모델에 대한 시각화는 가상현실 디스플레이

[†] 정희원 : 한국전력기술(주) 원자보철계개발팀
dykim@ns.kopec.co.kr

^{**} 종신희원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수
jwpark@eagle.chungnam.ac.kr

논문접수 : 2003년 1월 10일
심사완료 : 2003년 5월 19일

레이 시스템을 사용하여 구현할 수 있다. 몰입(immersive) 형태의 이러한 디스플레이는 내시경을 다루는 의사들로 하여금 연속적으로 신체를 볼 수 있게 하고, 실제상황과 같이 카메라의 방향을 조정할 수 있다. 실질적으로, 가상내시경은 시야(view)의 각도 및 방향, 시야의 크기조정, 즉각적인 새로운 시야로의 방향전환, 빛, 병변의 측정등과 같은 실제 내시경에서는 불가능한 시야 제어 및 옵션 등을 제공한다. 신체에는 실제 내시경으로는 접근하기 불가능한, 그러나 중요한 부분이 존재하는데, 이를테면, 심장, 척추, 귓속, 책장 및 혈관등과 같은 부분이 가상내시경으로 구현하기에 이상적이고, 중요한 신체 부위이다[2]. 또한 실제 내시경은 침습(invasive)검사로, 환자가 불편함을 감수해야하며, 검사 전에 사전 준비 작업이 필요하고, 절개, 감염, 출혈 등의 부작용을 수반한다. 가상내시경으로 생성된 영상에, 실제 내시경으로 촬영된 특정부위의 영상 샘플을 사용하여 텍스처 매핑(texture mapping) 기법을 적용하면, 가상내시경은 실제 내시경과 동일하게 실제적인 영상을 생성하며 유용하게 사용될 수 있다. 또한 가상내시경을 사용하여 생성된 영상을 이용하여, 특정 부위의 기하학 정보 및 밀도 정보등을 정량적으로 측정할 수 있는 가상 생체조직 검사(virtual biopsy)도 가능하다[1]. 가상내시경의 기술적인 배경은 컴퓨터공학, 지형유도(terrain guidance), 비행경로계획 및 모의실험비행등과 같이 실제계를 표현하고자 하는 노력에서 비롯되었다. 가상내시경의 디스플레이 절차는 다음과 같이 두 가지로 구분된다. 첫째, 가상현실 디스플레이 시스템을 사용하여 온라인, 실시간으로 디스플레이하는 방법으로, 빠르고 성능 좋은 컴퓨팅 능력이 필요하며, 사용자의 입력에 실시간으로 영상을 생성, 디스플레이 해주어야 한다. 둘째, 미리 정해진 비행경로를 사용하며, 연속적으로 해당되는 영상을 생성하여 디스플레이 해주는 방법이다. 일반적으로, 두번째 방법이 현재 가상내시경을 위한 디스플레이 방법으로 많이 사용되고 있다.

1.2 경동맥(Carotid Artery) 질환

뇌혈관질환(cerebrovascular disease)은 크게 출혈성 뇌혈관질환, 허혈성 뇌혈관질환으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 중풍 또는 뇌졸중(stroke)이라 한다. 허혈성 뇌혈관질환은 뇌혈관이나 경동맥이 다양한 원인에 의하여 막히거나 좁아져 뇌세포 기능의 유지에 필요한 혈액 공급이 차단되어 일시적 혹은 영구적으로 반신마비, 실어증 등이 발생한다. 뇌혈관질환은 미국에서 세 번째로 많은 사망원인으로 매년 50만 명이 발병하고, 15만 명이 사망한다[3]. 반면에 한국에서는 사망원인 1위의 질환으로, 우리나라에서도 노령인구의 증가 및 식생활의 변화로 점차 내경동맥 협착증과 같은 허혈성으로 인한 뇌졸

중이 뇌혈관질환의 80% 정도를 차지하고 있다. 경동맥은 뇌에 혈류를 공급하는 주된 혈관의 하나로 협착증과 같은 경동맥질환은 뇌졸중의 직접적인 원인이 된다. 경동맥질환은 대부분 죽상경화에 기인하며, 고혈압이나 혈관노화로 인한 동맥경화와는 달리, 죽상경화증이란 동맥혈관 벽에 콜레스테롤 등이 침착되어 혈관이 좁아져서 혈류 장애를 초래하는 질환이다. 죽상경화증은 혈관이 분지를 내는 곳에서 호발하며, 총경동맥이 내경동맥과 외경동맥으로 나뉘는 부위에 잘 생긴다.

2. 가상혈관경(Virtual Angioscopy)

실제 내시경으로는 접근이 불가능한 신체 부위중의 하나인 경동맥의 내부를 보기위한 가상혈관경을 구현하였다. 가상 혈관경을 구현하기 위해 영상획득, 영상분석, 경동맥 분리, 항해경로 결정, 렌더링 및 디스플레이 과정을 수행하였다(그림 1).

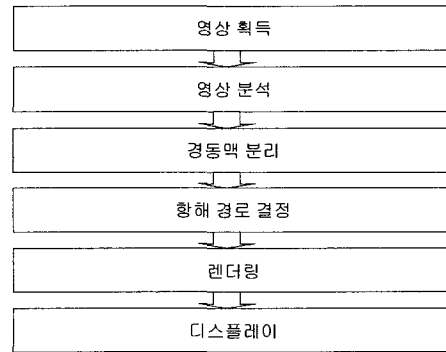


그림 1 가상혈관경 블록 다이어그램

2.1 영상획득

경동맥의 축상 단면 자기공명 영상(MRI)인 원천 영상으로 부터 MRA 영상을 얻었다. MRA 영상은 GE사의 Signa Horizon Echo Speed 스캐너를 사용하여 촬영된 영상으로 8 증례에 대해 가상혈관경을 구현하였다. 각각의 증례는 모두 136개의 축상 단면 원천영상으로 구성되어 있으며, 증례 1의 일부 단면 원천영상을 합성한(montage) 영상은 그림 2와 같다. 각 단면 원천영상의 크기는 512*512 픽셀이고 가로 및 세로 픽셀의 크기는 각각 0.43 mm이며, 절편의 두께는 1.4mm이다. 또한 영상 파일의 포맷은 ACR/NEMA의 DICOM[4] 형식으로 픽셀당 12 비트를 할당하여 저장된다.

2.2 영상 분석

경동맥을 촬영한 단면 원천영상을 분석하여 보면 그림 3과 같이 영상의 윗부분에 위치하는 좌우 한쌍의 총경동맥과 영상의 아랫부분에 위치하는 좌우 한쌍의 측



그림 2 증례 1의 일부 단면 원천영상(16장)을 합성(montage)한 영상



그림 3 경동맥 MRA 영상

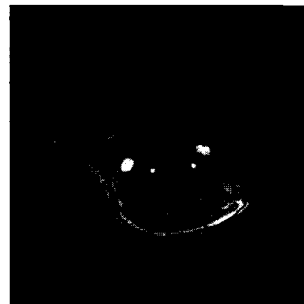


그림 4 우측 총경동맥의 분리시점에서의 MRA 영상

추기저동맥을 볼 수 있다. 뇌의 혈액공급은 크게 두 가지 경로로, 경동맥은 목의 양옆을 따라서, 그리고 척추기저동맥은 목뼈의 뒷부분을 통해 머릿속으로 들어가 각각 뇌에 혈액을 공급하고, 뇌속에서는 이들이 윌리스 환(circle of willis)이라는 고리 모양의 혈관구조에 의해 서로 연결된다. 총경동맥은 그림 4에서와 같이 우측 총

경동맥으로부터 내경동맥과 외경동맥으로 분리되는데, 외경동맥은 내경동맥보다 가늘고 갑상연골(thyroid cartilage) 위 모서리 높이에서 총경동맥으로 갈라져 나오며 뇌와 시각계통을 제외한 두부, 치아, 혀, 코 등 얼굴 및 목 앞부위(두경부)에 혈액을 공급한다. 내경동맥은 외경동맥보다 내경이 더 크며 뇌의 앞부분 및 시각계통

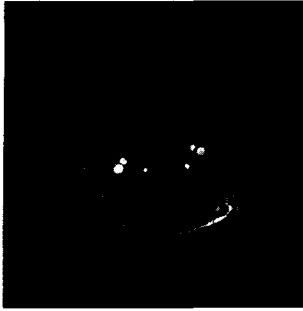


그림 5 내경동맥 및 외경동맥으로 분리된 MRA 영상

에 혈액을 공급하며, 내경동맥의 협착은 뇌졸중의 주된 원인이 되고 있다. 그림 5는 총경동맥으로부터 분리된 내경동맥 및 외경동맥을 보여주고 있다.

2.3 경동맥 분리

인체의 목 부분에 위치한 경동맥을 촬영한 단면 원천 영상(그림 3-5)들을 분석하여 보면, 단면 영상의 배경인 어두운 부분, 배경보다 조금 밝은 부분, 목 단면에 위치한 각종 근육들의 좀 더 밝은 부분, 경동맥 및 척추기저동맥 등이 보이는 밝은 부분으로 구분 할 수 있다. 결론적으로, 단면 원천영상에서 동맥을 제외한 어두운 부분과 경동맥 및 척추기저동맥을 포함한 밝은 부분, 두 영역으로 구별할 수 있다. 명암값의 빈도수를 사용하여 작성된 단면 영상의 히스토그램(그림 6)을 참고문헌[5]에 기술된 것과 같이 분석하여 보면, 동맥을 제외한 어두운 부분이 히스토그램 좌측에 위치하는 것을 알 수 있다. 단면 영상에서 어두운 부분이 밝은 부분에 비해 상대적으로 면적이 넓기 때문에 두개의 봉우리를 이루지는 못하지만, 경동맥 및 척추기저동맥을 포함한 밝은 영역의 명암값의 범위를 임계값으로 정하였다. 참고문헌[5]에 기술된 것과 같이 명암값에 의한 임계값(gray-level thresholding) 처리기법을 사용하여, 단면 원천영상에서

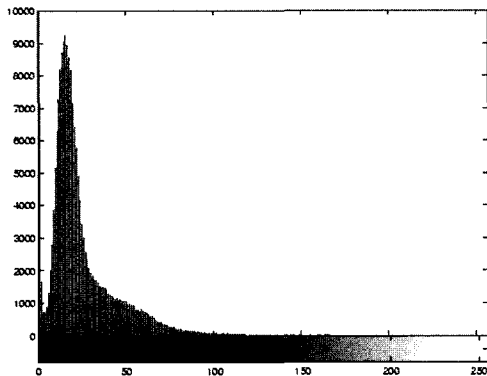


그림 6 경동맥 MRA 영상에 대한 히스토그램 (그림 5를 입력으로 이용)

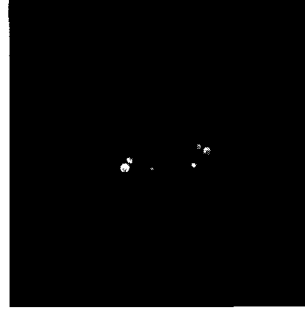


그림 7 경동맥 및 척추기저동맥만 분리된 MRA 영상 (그림 5를 입력으로 이용)

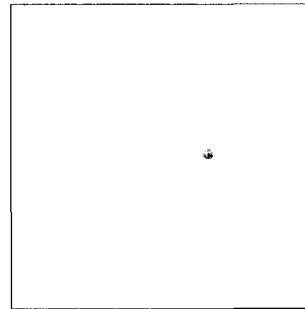


그림 8 총경동맥 및 내경동맥만 분리된 MRA 영상 (그림 7을 입력으로 이용)

경동맥 및 척추기저동맥만을 그림 7과 같이 분리 하였다. 뇌에 대부분의 혈액을 공급하는 내경동맥 및 총경동맥을 가상혈관경으로 구현하기 위해 경동맥 및 척추기저동맥만으로 분리된 그림 7과 같은 영상에서는 내경동맥만, 그리고 본지 이전 영상에서는 총경동맥만을 그림 8과 같이 분리 하였다.

2.4 항해경로(Navigation Path)결정

총경동맥 및 내경동맥으로 분리된 136개의 단면 영상을 가상혈관경에서 가상 카메라가 항해할 경로 결정을 위해 사용하였다. 항해계획을 위해 사전에 비행경로(fly-through path)를 계산하여, 가상 카메라가 미리 정해진 경로를 따라 움직이도록 하였다. 일반적으로, 비행 경로 결정은 방사선과 의사들에 의해 슬라이스 영상에서 해당 좌표를 선택하게 하는 수작업으로 이루어지는데, 본 논문에서는 총경동맥 및 내경동맥만으로 분리된 단면 영상을 사용하여 비행경로를 자동으로 결정하였다. 그림 8과 같이 총경동맥 및 내경동맥만으로 분리된 영상을 입력으로 중앙축 변환(medial axis transformation)을[6-8] 통하여 중앙 좌표를 구하고 이를 비행경로로 사용하였다. 정해진 비행경로를 따라 가상 카메라의 위치를 이동하게 하였고, 가상 카메라의 초점은 가상 카메라보다 일정 간격 전방에 위치시켰고 카메라

의 라이트는 헤드라이트를 사용하였다. 물체에 대한 거리감으로 인해 복잡한 구조물 해석에 유용한 원근투영(perspective projection) 및 볼륨 데이터 렌더링에 사용되는 방법 중의 하나인 표면 렌더링 기법을 사용하여 가상 카메라가 위치한 곳의 영상을 생성하였다.

2.5 렌더링(Rendering)

볼륨 데이터의 3차원 렌더링에 사용되는 방법으로 크게 표면 렌더링과 볼륨 렌더링으로 구분된다. 표면 렌더링은 영상을 생성하기 위하여 볼륨 데이터로부터 다각형을 추출한다. 그러므로 표면 렌더링은 일반적인 그래픽 하드웨어를 사용할 수 있는 장점을 가진다. 또한 렌더링 속도가 빠르고 특수 목적으로 제작된 하드웨어의 지원 없이 소프트웨어만으로 렌더링이 가능한데, 현재의 모든 컴퓨터는 표면 모델을 디스플레이 하기에 최적화되어 있다. 또한, 표면 모델은 사용자와의 상호 작용이 가능하며 객체의 위치 재조정 및 조각이 용이한 장점을 가지고 있고, 아주 작고 미세한 조직의 시각화에 적절하기 때문에 수술 계획의 응용에서 많이 사용된다. 렌더링에 사용된 볼륨 데이터의 전부를 사용하는 볼륨 렌더링[9-10]에 비해 볼륨 데이터의 일부만을 사용한다는 비판이 있지만, 3차원 표면 재구성에 사용되는 표면 렌더

링은 속도가 빠르고 작은 객체의 시각화에 유용하게 사용되는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 표면 렌더링의 대표적인 방법인 마칭큐브(marching cube) 알고리즘을[11] 사용하여 내시경 영상을 생성하였다. 마칭큐브(marching cube) 알고리즘은 3차원 볼륨 데이터에서 등가면(isosurface)을 추출하는 기법으로, 픽셀값을 이용하여 큐브를 형성하고 각각의 픽셀 명암값을 이용하여 등가면을 추출하여 영상을 생성하는 실용적인 알고리즘이다. 마칭큐브(marching cube) 알고리즘은 의료영상 분야에서 CT 및 MRI를 이용하여 생성된 단면 영상을 이용하여 3차원 표면을 재구성 할 수 있으며, 복셀(Voxel) 각각에 대한 렌더링이 가능하기 때문에 원하는 부분을 선택해서 시각화할 수 있는 장점이 있다.

2.6 디스플레이

경동맥을 촬영한 MRA 영상을 사용, 3차원 표면으로 재구성된 환자의 얼굴 영상은 그림 9-11과 같으며 카메라의 위치는 좌측 30도, 정면, 우측 30도에 위치하여 생성된 영상이다. 그림 7과 같이 경동맥 및 척추기저동맥만 분리된 MRA 영상을 사용 3차원 표면으로 재구성된 경동맥 영상은 그림 12-14와 같으며 카메라의 위치는 좌측 30도, 정면, 우측 30도에 위치하여 생성된 영상이

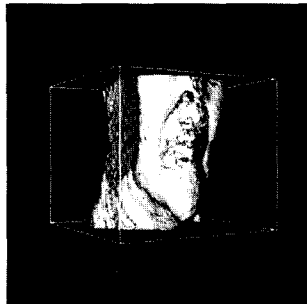


그림 9 우측 30도 얼굴

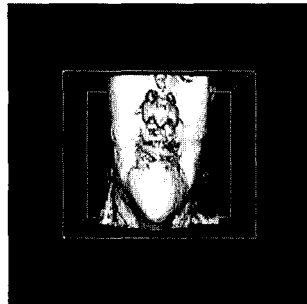


그림 10 정면 얼굴 영상

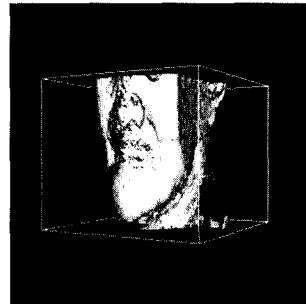


그림 11 좌측 30도 얼굴

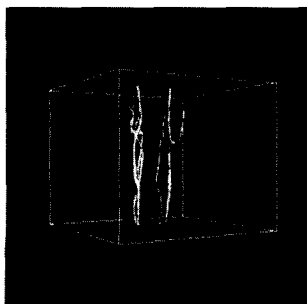


그림 12 우측 30도 경동맥

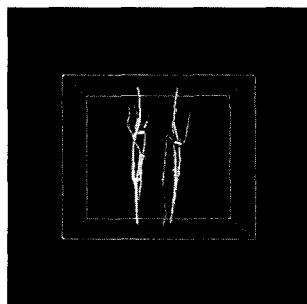


그림 13 정면 경동맥 영상

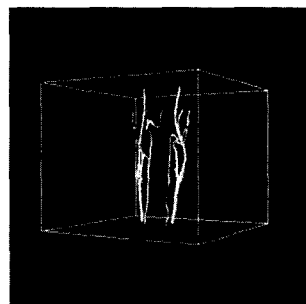


그림 14 좌측 30도 경동맥



그림 15 총경동맥 내시경 영상

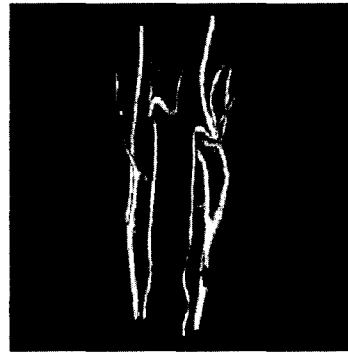
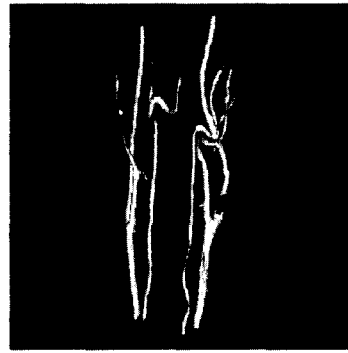
그림 16 총경동맥 내시경 영상
생성시 가상 카메라 위치

그림 17 내경동맥 내시경 영상

그림 18 내경동맥 내시경 영상
생성시 가상 카메라 위치

다. 정해진 항해경로를 따라 가상 카메라가 위치하여, 원근투영 및 마칭큐브(marching cube) 알고리즘에 의해 3차원 표면을 재구성하여 생성된 총경동맥 내시경 영상은 그림 15, 내경동맥 내시경 영상은 그림 17과 같다. 그림 16 및 그림 18에서 표시된 각각의 화살표는 그림 15 및 그림 17의 내시경 영상 생성시 가상 카메라의 위치 및 방향을 보여 주고 있다.

3. 실험결과

경동맥을 촬영한 MRA 영상을 이용하여 가상혈관경을 구현하기 위해 인텔 P4 1.7 GHz 프로세서에 768 MB의 메모리, 64MB의 비디오 메모리를 가진 NVIDIA TNT2 Model 64 그래픽 카드를 사용하였다. 각 증례의 볼륨 데이터 크기는 512*512*136 이고, 픽셀 크기는 0.43 mm, 절편의 두께는 1.4 mm인 8 증례의 경동맥을 촬영한 MRA 영상에 대해 가상혈관경을 구현하였다. 경동맥을 대상으로 구현된 가상혈관경은 경동맥 내부의 협착(stenosis) 위치와 협착 정도를 정성적으로 파악할 수 있는 내시경 영상을 제공한다. 기존의 가상내시경들

은 대장 및 흉부를 촬영한 CT 영상을 사용한 가상대장경[12-13] 및 가상기관지경[14-15]이 주를 이루고 있고 일부, 가상혈관경[16]에 대한 연구가 있지만, 본 논문에서 구현한 경동맥 MRA 영상을 이용한 가상혈관경은 전무한 형편이다. 기존의 가상대장경[12]은 대장을 촬영한 CT 영상을 이용하여 가상내시경 영상을 렌더링하기 위해 마칭큐브 알고리즘을 사용하였고, 사용자와 상호작용(Interactive)이 가능한 비행경로를 사용하였으며 SGI 워크스테이션을 사용하여 초당 14 프레임 정도의 내시경 영상을 생성하였다. 또 다른 가상대장경[13]은 대장을 촬영한 CT 영상을 이용하여 가상내시경 영상을 렌더링하기 위해 볼륨렌더링 방법을 사용하였고, 비행경로의 일부만을 사용하는 핵심프레임(Keyframe) 방식을 사용하여, 중간 프레임들은 오프라인으로 수 시간에 걸쳐 내시경 영상을 생성하였다. 가상기관지경[14-15]은 흉부를 촬영한 CT 영상을 이용하여 가상내시경 영상을 렌더링하기 위해 표면렌더링 방법을 사용하였고, 비행경로인 기관지 트리를 사전에 구성하여 사용하였으며, 일반 PC에 구현하였다. 가상혈관경[16]은 경동맥을 촬영

한 CT 영상을 이용하여 내시경 영상 생성에 블룸렌더링 방법을 사용하였고, 미리 정해진 비행경로를 사용하였으며, SGI 워크스테이션에 구현하고 있으나, 32개의 축상 단면 영상만을 사용한 한계점을 가지고 있다. 기존 가상내시경 연구와 상대적인 비교 검토는, 사용한 블룸 데이터의 크기가 서로 상이하고, 표면 및 블룸렌더링 방법의 이용과 서로 다른 플랫폼을 사용하는 관계로 정성적인 비교만이 가능한 것으로 판단된다. 일반적으로 사용자와 상호작용이 가능한 온라인 가상내시경 구현을 위해서 PC 환경에서는 마칭큐브 알고리즘으로 대표되는 표면렌더링 방법을, 워크스테이션 환경에서는 블룸렌더링 방법이 주를 이루고 있다. 그렇지만, 범용의 그래픽 카드가 아닌 블룸렌더링을 지원하는 특수 제작된 하드웨어를 장착한 PC에서는 블룸렌더링 방법을 사용하여 상호작용이 가능한 온라인 가상내시경 구현이 가능하며, 비록 워크스테이션 환경이라도 렌더링 하고자 하는 블룸 데이터의 크기가 커진다면 렌더링 속도가 초당 10 프레임 정도의 일반적인 가상내시경 구현 요건[12] 이하로 떨어지는 문제가 발생한다. 가상카메라의 비행경로를 생성하는 방법으로는 사용하고자 하는 블룸 데이터의 일부에서 중간의 핵심프레임(Keyframe)에 대한 가상카메라의 위치만을 수작업 또는 자동으로 정한 이후, 나머지 프레임의 가상카메라 위치는 스폴라인 곡선[17]을 사용하여 연결하는 방법과, 블룸 데이터 전부를 사용하여 비행경로를 자동으로 결정하는 방법으로 구분하여 볼 수 있다. 본 논문에서 경동맥의 내부를 시각화한 가상혈관경은 PC 환경에서 마칭큐브 알고리즘을 이용하여 사용자와 상호작용이 온라인으로 가능하도록 구현하였으며 초당 15 프레임 정도의 내시경 영상을 제공한다. 이와 같은 결과는 일반적인 가상내시경 구현요건인 초당 10 프레임을 상회하는 성능으로서 실제 질병진단에 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 중간 프레임들을 오프라인으로 영상을 생성하고, 가상카메라 비행경로의 일부만을 생성하는 핵심프레임(Keyframe)방식[13,18]과 달리 모든 비행경로에 대하여 온라인으로 내시경 영상을 생성하였고, 자동으로 모든 비행경로를 결정하였다. 본 논문에서 구현한 경동맥 가상혈관경은 초당 15 프레임 정도의 내시경 영상의 생성이 가능하고, 비행경로를 자동으로 결정하였으며, 모든 비행경로에 대한 영상을 생성하였는데, 이는 앞에서 비교 분석한 기존의 가상내시경 응용보다 우수한 성능을 가진 것으로 판단된다.

4. 결론

뇌졸중은 출혈성 및 허혈성으로 인한 뇌혈관질환으로 구분되는데 우리나라에서도 식생활이 서구화되면서 허혈성으로 인한 뇌혈관질환이 뇌졸중의 80% 정도를 차

지한다. 경동맥은 뇌에 혈액을 공급하는 주된 혈관으로, 경동맥 협착이 뇌졸중의 직접적인 원인이 된다. 실제 광학 내시경으로 접근이 불가능한 경동맥의 내부를 관찰하기 위해, 경동맥을 촬영한 MRA에서 단면 원천영상을 이용 가상혈관경을 구현하였다. 총경동맥 및 내경동맥만을 단면 원천영상에서 분리하여, 가상 카메라의 항해경로를 미리 정하였고, 원근투영 및 마칭큐브(marching cube) 알고리즘을 사용하여 내시경 영상을 생성하였다. 협착증 판단을 위해서는 MRA 단면 원천영상만을 가지고 3차원적으로 상상하여 진단하는 기존의 방법에 비해, 시각화된 내시경 영상을 가지고 경동맥의 내부를 실제 광학 내시경과 같이 볼 수 있어, 협착증이 있는 특정 부위 및 협착증 정도를 정성적으로 파악할 수 있는 방법을 제공한다. 경동맥을 대상으로 한 가상혈관경은 협착증 진단 및 교육, 훈련등에 사용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 사용자와의 상호작용을 통한 가상 카메라의 위치 변경, 또는 미리 정해진 비행경로(fly-through) 방법과 사용자와의 상호작용 방법을 혼합한 유도비행 방법 개발이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 협착증 정도를 정량적으로 계산하는 방법과 협착 부위의 원인이 되는 물질의 성분 분석등과 같은 가상 생체조직검사(virtual biopsy) 기능을 추가하면 바람직한 가상혈관경이 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] R.A. Robb, "Virtual (Computed) Endoscopy : Development and Evaluation Using the Visible Human Datasets," Visible Human Project Conference, 1996.
- [2] F.A. Jolesz, W.E. Lorensen, H. Shinmoto, et al, "Interactive Virtual Endoscopy," American Journal of Roentgenology (AJR), Volume 169, pp. 1229-1235, 1997.
- [3] F. Rodriguez, "Screening for Carotid Artery Stenosis and Performance of Carotid Endarterectomy in Select Asymptomatic Patients of Cost-effective," McGill Journal of Medicine, pp. 35-41, 1999.
- [4] NEMA Draft Standards, *Digital Imaging and Communications in Medicine(DICOM)*, Part 1-14.
- [5] M.J. Calotto, "Histogram Analysis Using a Scale-Space Approach," IEEE Transaction on PAMI, pp. 121-129, 1987.
- [6] R. Jain, R. Kasturi, B.G. Schunck, *Machine Vision*, pp. 55-57, McGraw-Hill, Inc, 1995.
- [7] J.R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, pp. 177-179, John-Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [8] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, *Digital Image Processing*, pp. 491-494, Addison-Wesley, 1992.
- [9] K. Kreeger, I. Bitter, F. Dachille, et al, "Adaptive

- Perspective Ray Casting," Proceeding of IEEE Volume Visualization, pp. 55-62, 1998.
- [10] P. Lacroute, M. Levoy, "Fast Volume Rendering using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transformation," Proceeding of ACM SIGGRAPH, pp. 451-458, 1994.
- [11] W. Lorensen, H. Cline, "Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Proceeding of ACM SIGGRAPH, pp. 163-169, 1987.
- [12] L. Hong, S. Muraki, A. Kaufman, D. Bartz, T. He, "Virtual Voyage : Interactive Navigation in the Human Colon," Proceeding of ACM SIGGRAPH, pp. 27-34, 1997.
- [13] L. Hong, A. Kaufman, Y. Wei, et al, "3D Virtual Colonoscopy," Proceeding of Biomedical Visualization, pp. 26-33, 1995.
- [14] R.D. Swift, A.P. Kiraly, A.J. Sherbondy, et al, "Automatic Axes-Generation for Virtual Bronchoscopic Assessment of Major Airway Obstructions," Computerized Medical Imaging and Graphics, Volume 26, Number 2, pp. 103-118, 2002.
- [15] J.P. Helferty, A.J. Sherbondy, A.P. Kiraly, et al, "Image-Guided Endoscopy for Lung-Cancer Assessment," Proceeding of IEEE Image Processing, pp. 307-310, 2001.
- [16] E. Gobbetti, P. Pili, A. Zorcolo, M. Tueri, "Interactive Virtual Angioscopy," Proceeding of IEEE Visualization, pp. 435-438, 1998.
- [17] D. Kochanek, R. Bartels, "Interpolating Splines with Local Tension, Continuity, and Bias Control," Computer Graphics, Volume 18, Number 3, pp. 33-41, 1984.
- [18] G. Rubin, C. Beaulieu, V. Argiro, et al, "Perspective Volume Rendering of CT and MR Images : Applications for Endoscopic Imaging," Radiology, Volume 199, pp. 321-330, 1996.



박 중 원

1979년 2월 충남대학교 전자공학과 졸업, 공학사. 1981년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업, 공학석사. 1991년 8월 한국과학기술원 전산학과 졸업, 공학박사. 1983년~1993년 충남대학교 전산학과 부교수. 1994년~현재 충남대학교 정보통신공학과 정교수. 관심분야는 영상처리, 병렬처리, 의공학



김 도 연

1986년 2월 충남대학교 계산통계학과 졸업, 이학사. 2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과 졸업, 공학석사. 2003년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업, 공학박사. 1986년 2월~1996년 12월 한국원자력연구원. 1997년 1월~현재 한국전력기술

(주) 원자로설계개발단. 관심분야는 의학영상처리, 3차원시각화