

<원저>

급성 뇌졸중 환자의 시공간 분석 기법을 이용한 동적 전산화 단층 검사 : 예비 연구

- Dynamic Computed Tomography based on Spatio-temporal Analysis in Acute Stroke: Preliminary Study -

동서대학교 대학원 보건과학과¹⁾·양산부산대학교병원 영상의학과²⁾
동서대학교 방사선보건환경연구센터³⁾·동서대학교 치위생학과⁴⁾·동서대학교 방사선학과⁵⁾
박하영^{1,2)}·편도영^{1,3)}·김다혜⁴⁾·정영진^{1,3,5)}

— 국문초록 —

급성 뇌졸중(acute stroke)의 경우 빠른 처치가 이루어지지 않으면 뇌손상으로 인해 평생 장애를 가지고 살아야 하는 질환이다. 따라서 뇌졸중 환자가 발생할 경우에는 신속한 진단과 치료가 이루어져야 하므로 장시간의 검사를 해야 하는 MRI 보다는 빠른 검사와 3D 구현이 가능한 뇌 관류전산화단층촬영(Brain Perfusion CT)이 널리 활용되고 있다. 그러나 환자에게 많은 방사선 피폭이 이루어질 수 있기 때문에 저선량(low dose) 기법을 사용하여 영상을 획득하게 된다. 이로 인해 촬영된 영상의 질 저하가 유발되며, 특히 가우시안노이즈의 영향을 크게 받아 정확한 혈관 영상의 확인을 저해한다. 본 연구에서는 관류전산화단층촬영을 통해 얻어진 동적 CT 데이터에 시공간 분석 기법을 적용하여 진단 영상의 질을 향상시키고자 한다. 특히, 가우시안노이즈를 제거하기 위해서 선형 특징 추출 방법 중 하나인 주성분 분석 기법을 적용하여 분석하였으며, 그 결과 시공간 특징에 따른 각각의 관류 영상 성분을 추출한 경우 뇌-혈관 영상뿐만 아니라 뇌-실질 영상의 질이 향상됨을 가시적으로 확인할 수 있었다. 새롭게 시도된 시공간 기반 영상기법이 향후 급성 뇌졸중 진단뿐만 아니라 다양한 시계열 정보가 포함된 뇌질환 진단 영상분석에 활용된다면, 임상 진단의 질 향상에 도움이 될 것이라 기대한다.

중심 단어: 관류전산화단층촬영, 급성 뇌졸중, 가우시안노이즈, 주성분 분석 기법, 시공간 분석

1. 서 론

급성 뇌졸중(acute stroke)의 경우 빠른 처치가 이루어지지 않아 치료가능 시기(golden time)를 놓치게 되면 뇌손상으로 인해 평생 장애를 가지고 살아야 하는 질환이다^[1]. 그렇기 때문에 신속한 진단과 치료가 이루어져야 환자의 뇌조직 손상을 최대한 막을 수 있다. ‘미국국립보건원’(National Institutes of Health) 산하의 ‘국립신경질환뇌

졸중연구소’(National Institute of Neurological Disorders and Stroke)의 연구 결과 급성 뇌졸중의 치료에는 정맥을 통해 혈전용해제(recombinant tissue Plasminogen Activator, r-tPA)를 증상 발현 3시간 내에 주입했을 때 효과적이었다고 발표했다^[2]. 임상에서는 급성 뇌졸중 환자가 3시간 이내에 내원하는 경우 r-tPA를 사용할 수 있고 시술이나 수술적 치료 없이 간단하게 치료할 수 있다^[2,3]. 최대한 많은 뇌 조직을 살리기 위해서는 빠른 치료가

This work was supported by Dongseo University, "Dongseo Cluster Project" Research Fund of 2016
Corresponding author: Young-jin Jung, Dept. of Radiological Science, Dongseo University, Dongseo University, 47 Jurye-ro, Sasang-gu, Busan 47011, Korea / Tel: 051-320-2871 / E-mail: microbme@dongseo.ac.kr
Received 31 October 2016; Revised 06 December 2016; Accepted 07 December 2016

필요하므로 장시간의 검사를 해야 하는 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI) 보다는 빠른 검사와 3D 구현이 가능한 뇌 관류전산화단층촬영(Brain Perfusion Computed Tomography; BPCT)이 적합하다. 그러나 2009년 미국 식품의약청(Food and Drug Administration)은 뇌 관류전산화단층촬영을 시행한 환자들에게서 띠 모양의 탈모가 발생한 사실을 밝히며 과도한 방사선이 노출된 것을 원인으로 보고 경고한 바 있다^[4]. BPCT는 일반적인 뇌-영상 검사 대비 피폭의 부담이 크므로 저-선량(low kVp와 mAs) 기법의 사용이 요구된다. 이로 인해 촬영된 영상의 질 저하가 유발되며, 특히 가우시안노이즈가 발생하여 뇌-실질(cerebral parenchyma) 뿐만 아니라 뇌-혈관의 정확한 판독 및 확인을 방해한다^[5].

이러한 이유로, 현재의 널리 사용되는 기법으로 얻은 뇌-관류 원본 영상은 임상에서 진단에 직접 활용되기 보다는 혈-역학적 요소를 나타내어 대뇌혈류량(cerebral blood volume; CBV), 대뇌혈류흐름(cerebral blood flow; CBF), 평균경과시간(mean transit time; MTT)을 얻기 위한 데이터로만 이용되어 왔다^[6].

본 논문에서는 화질이 저하된 뇌-관류전산화단층촬영 영상을 가지고 시공간 특징 기반 분석기법을 이용하여 화질을 개선하고, 이로부터 얻은 데이터의 임상적 활용성에 대하여 알리고자 한다.

II. 방 법

1. 영상의 획득 및 프로토콜

급성 뇌졸중으로 의심되어 응급실을 내원한 환자들 중에서 뇌 전산화단층영상(Computed Tomography of brain, CT brain) 검사를 시행한 결과 뇌출혈 소견이 없고 증상발현 3시간 이내인 경우 관류전산화단층촬영을 시행한 환자의 영상을 획득하였다. CT 검사는 SOMATOM Definition AS+128 장비로 관전압(Tube Voltage)과 관전류(Current)를 각각 80 kVp, 250 mAs, 슬라이스 두께(slice thickness)는 10 mm, 스캔 속도(scanning speed) 0.3 sec per rotation, 조영제(Contrast Agent) 40 mL (injection speed: 5ml/s)의 조건으로 61.8초 동안 660장의 관류 영상을 얻어내어 이용하였다.

2. 영상화 기법의 구현

관류전산화단층촬영으로 얻어낸 영상은 시간에 따른

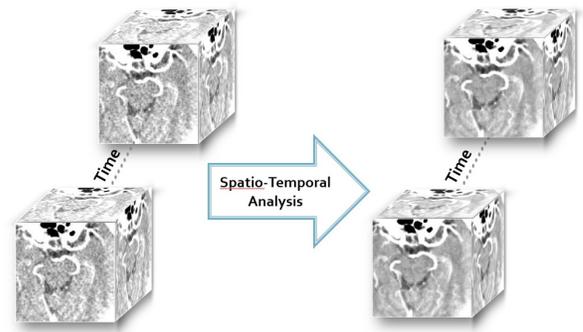


Fig. 1 Left side 4D image is original CT perfusion data, right side 4D image is noise reduced image by using principle component analysis

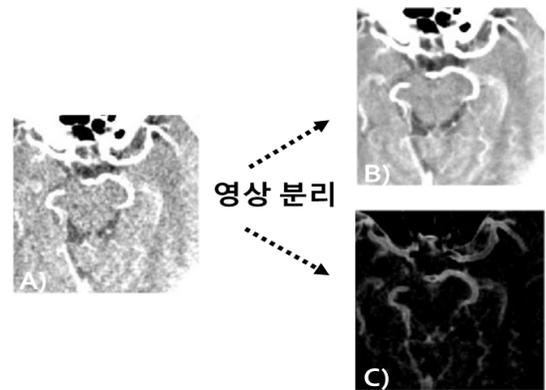


Fig. 2 Image decomposition of perfusion CT. A) Original image, B) de-noised image by using spatio-temporal technique, C) 3rd-component image that show the feasibility of CT angio application

조영제의 영향을 받은 뇌 조직의 대조도 차이를 나타낸 것으로, 동적 단층 영상으로 간단히 말할 수 있다. 이러한 영상은 4차원 행렬구조를 가지게 되며, 시공간 분석이 가능한 대표적인 선형 특징 추출 방법인 주성분 분석 기법(Principal Components Analysis; PCA)을 적용하여 노이즈 성분의 제거를 시도하였다(Fig. 1).

PCA 방법을 적용하게 되면, 원래의 4차원(=3차원 공간 정보 + 1차원 시간정보) 영상으로부터 시공간 특징에 선형성을 가지는 특징에 따라 여러 개의 시공간 특징 기반 영상으로 분리해 낼 수 있으며(Fig. 2), 이러한 특징 기반 영상은 특징에 따라 따로 묶어서 다시 영상으로 복원할 수 있다. 본 연구에서는 시공간 특징 기반으로 분리된 영상 중 노이즈 성분이라고 추정되는 저-정보(low-information) 특징을 제외하고 영상을 다시 복원함으로써 노이즈를 제거하여 영상의 질적 향상을 도모하였다. 위에 설명한 기법의 구현은 MATLAB의 내장 PCA 관련 함수를 이용하여 간단히 수행할 수 있다.

3. 화질평가 및 임상적 활용 가능성 고찰

본 영상의 경우 객관적인 화질 평가를 하기 위해서는 신호대노이즈 비(signal to noise ratio; SNR)를 계산하는 방법이 일반적이나, 이를 위해서는 생체조직 촬영영역 이외의 빈 공간의 노이즈 성분 데이터가 필요하다^[6]. 그러나 본 촬영에 사용된 SOMATOM Definition AS+128은 생체조직 이외의 영역을 제로패딩(zero padding)을 하여 모든 값이 인위적으로 0으로 세팅되어 있기 때문에, 촬영된 영상 자체만을 이용한 SNR 계산이 불가능하므로 정성적 평가를 진행하였다. 이를 위해서 주어진 영상의 질을 다년간의 경험(3년 이상)이 있는 방사선사에게 1~5점의 점수로 상대적인 평가를 의뢰하였다. 또한 임상적 활용 가능성 평가를 위해서 뇌졸중 진단 전문 임상주의 의견을 수집하여 평가하였다.

III. 결 과

본 논문에서 개발한 시공간 특징 기반의 영상화 기법을 통하여 원본 영상은 여러 개의 주성분 기반 영상으로 분리될 수 있다. Fig. 2는 영상 분리의 예를 나타낸 것으로 영상(B)는 원본 영상에 비하여 가우시안노이즈가 확연히 제거됨을 확인할 수 있다. 또한 영상(B)에서는 가우시안노이즈는 사라졌으며, 뇌-혈관상이 뚜렷하게 나타나고, 뇌-실질 부위 또한 관찰에 용이하도록 선명하게 나타남을 확인할 수 있다.

수평단면(Transverse Plane) 영상을 통하여 우선 중

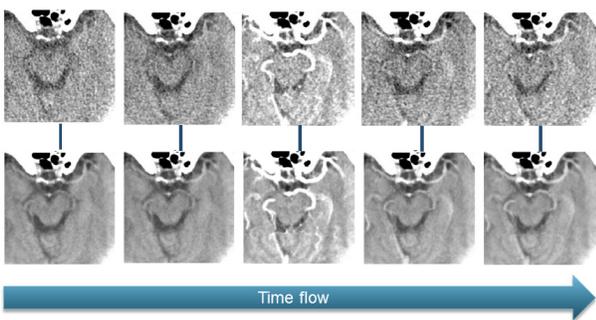


Fig. 3 Original images (up) & processed images (down) according to time flow.

간뇌(midbrain)의 경계를 명확히 확인할 수 있다. 또한 중간뇌 앞쪽에 위치한 유두체(mammillary body)와 뒤쪽의 소뇌별레(vermis of cerebellum) 구조도 영상(A)에 비하여 선명하게 관찰된다. 중간뇌의 가쪽에서는 가쪽뇌실(lateral ventricle)의 음영이 뚜렷이 보임을 알 수 있다. 뇌는 속목동맥(internal carotid artery)과 척추동맥(vertebral artery)에 의해 혈액을 공급받는다. 속목동맥은 앞대뇌동맥(anterior cerebral artery)과 중간대뇌동맥(middle cerebral artery)으로 나누어지고, 척추동맥은 뇌바닥동맥(basilar artery)을 형성한 후 다시 뒤대뇌동맥(posterior cerebral artery)으로 나뉜다. 영상(B)에서는 속목동맥으로부터 이어지는 중간대뇌동맥과 뇌바닥동맥에서 일어나는 뒤대뇌동맥의 가지를 관찰할 수 있다^[7,8]. 이는 기존의 영상에 비하여 뇌졸중 환자의 발병 부위를 보다 정확히 확인하는데 도움을 줄 것이다. 영상(C)에서는 혈관 외 조직은 배제시키고 혈관상만 추출한 것으로 CT angiography 영상과 유사성을 보이며, 향후 새로운 CT angiography 구현 기법으로의 발전 가능성을 암시한다.

임상적 활용에 대한 유의미성을 정성적으로 평가하기 위해 Fig. 3에 나타난 것과 같이, 원본영상과 노이즈가 제거된 가공(processed)영상의 화질평가를 다년간의 임상경력이 있는 방사선사(평균 6.9년 ±3.3813) 10명에게 각각 1점에서 5점까지 점수를 매기도록 하였다. 그 결과 원본영상의 평균 평가점수는 2.4(±0.5164)점, 추출된 영상의 평균 평가점수는 4.8(±0.4216)점으로, 두 점수 그룹 사이의 차별성을 통계적으로 확인하기 위해서 two sample pared *t*-test를 적용해본 결과 *p*-value가 0.001 이하로 통계적으로 확연한 차이가 나타남을 확인할 수 있었다.

IV. 고 찰

개발된 영상기법을 통해 얻어진 혈관만을 보여주는 영상은 CT angiography와 유사한 것으로, 널리 활용되는 디지털감산혈관조영술(Digital subtraction angiography)의 3차원 영상 구성방법으로 볼륨렌더링(volume rendering) 기법과 최대강도투사(Maximum intensity projection) 기법

Table 1 Alphabet A~J indicate assessors who evaluated the image quality of original & processed CT images. 'Avr' indicate average score, 'Std' is standard deviation value for statistical understanding

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Avr	Std
Original Images	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2.4	0.5
Processed Images	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4.8	0.4

이 보편적으로 사용되지만, 이와는 다른 접근 방식인 시공간 특징 기반 분석법을 이용하여 새로운 3차원 혈관영상 재구성 구현이 가능할 것이라 기대된다. 시공간 특징기반 분석 기법을 이용하여 얻은 결과 영상은 볼륨단위로 연산이 이루어지므로 시간의 변화에 따른 볼륨단위의 영상을 확인할 수 있다. 비록 예비연구에서 사용된 CT 영상은 1명의 데이터이기기는 하지만, 추후 다수의 데이터를 확보하여 보다 진보된 특징의 규명과 실질적인 임상 적용방법의 연구가 수행되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 논문에서 개발된 시공간 특징 기반 영상화 기법으로 얻어진 영상은 본래의 영상에서 가지는 가우시안노이즈를 제거하여 화질의 개선을 확인할 수 있었다. 특히 정성적 평가를 위해서, 숙련된 방사선사의 시각적 평가에서도 미세한 혈관-상뿐만 아니라 뇌-실질도 잘 보이게 해주어 진단에도 유용할 것이라는 결론을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 개발된 영상기법은 향후 급성 뇌졸중 진단뿐 아니라 다양한 시계열 정보가 포함된 동적 CT 기반 뇌질환 진단 영상분석에 유용하게 활용될 것이다. 특히 기술의 지속적인 개발을 통해서 관류전산화단층촬영의 저-선량화를 더욱 가속화시켜 그 임상적 활용 범위의 다양화 및 극대화에 도움이 될 것이라 기대한다.

REFERENCES

1. Young-hoon Lee, Hyun Young Park, Hak-seung Lee, et al. : Effects of Community-based Stroke Education and Advocacy on the Time from Stroke Onset to Hospital Arrival in Ischemic Stroke Patients, *Journal of Korean Neurological Association*, 33(4), 265-271, 2015
2. The national institute of neurological disorders and stroke Rt-PA stroke study group : Tissue plasminogen activator for acute ischemic stroke., *The New England journal of medicine*, 333(24), 1581-1587, 1995
3. Joon-tae Kim, Dae-su Shin, Tai-seung Nam, et al. : Clinical Usefulness of Perfusion CT in Acute Ischemic Stroke, *The Korean Neurological Association*, 20(6), 585-591, 2002
4. Cynthia H. McCollough, Andrew N. Primak, Natalie Braunc, et al. : Strategies for reducing radiation dose in CT, *Radiologic Clinics of North America*, 47(1), 27-40, 2009
5. Won-Jeong Lee, Bong-Seon Ahn, and Young-Sun Park: Radiation Dose and Image Quality of Low-dose Protocol in Chest CT : Comparison of Standard-dose Protocol, *Journal of Radiation Protection*, 37(2), 84-89, 2012
6. Do-Yeong Pyeon, Jung-Su Kim, Cheol-Ha Baek, and Young-Jin Jung : Singular Value Decomposition based Noise Reduction Technique for Dynamic PET Image : Preliminary study, *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(2), 227-236, 2016
7. Won Taek Lee and Kyung Ah Park : Medical neuro-anatomy: Blood vessels and meninges, *Korea Medical Book Publisher*, 188-215, 2008
8. Michael Schuenke, Erik Schulte, and Udo Schumacher : Atlas of anatomy-Head and neuroanatomy, *Thieme*, 246-265-309, 2007

•Abstract

Dynamic Computed Tomography based on Spatio-temporal Analysis in Acute Stroke: Preliminary Study

Ha-Young Park^{1,2)}·Do-Yeong Pyeon^{1,3)}·Da-Hye Kim⁴⁾·Young-jin Jung^{1,3,5)}

¹⁾*Dept. of Health Sciences, Graduate school, Dongseo University*

²⁾*Dept. of Radiology, Pusan National University Yangsan Hospital*

³⁾*Center for Radiological Environment & Health Science, Dongseo University*

⁴⁾*Dept. of Dental Hygiene, Dongseo University*

⁵⁾*Dept. of Radiological Science, Dongseo University*

Acute stroke is a one of common disease that require fast diagnosis and treatment to save patients life. however, the acute stroke may cause lifelong disability due to brain damage with no prompt surgical procedure. In order to diagnose the Stroke, brain perfusion CT examination and possible rapid implementation of 3D angiography has been widely used. However, a low-dose technique should be applied for the examination since a lot of radiation exposure to the patient may cause secondary damage for the patients. Therefore, the degradation of the measured CT images may interferes with a clinical check in that blood vessel shapes on the CT image are significantly affected by gaussian noise. In this study, we employed the spatio-temporal technique to analyze dynamic (brain perfusion) CT data to improve an image quality for successful clinical diagnosis. As a results, proposed technique could remove gaussian noise successfully, demonstrated a possibility of new image segmentation technique for CT angiography. Qualitative evaluation was conducted by skilled radiological technologists, indicated significant quality improvement of dynamic CT images, the proposed technique will be useful tools as a clinical application for brain perfusion CT examination.

Key Words : Perfusion computed tomography (perfusion CT), Acute stroke, Gaussian noise, Principle component analysis, Spatio-temporal analysis